



KWR 2017.093 | December 2017/April 2018

**Reactie op het LTO-  
rapport over  
stationaire  
grondwaterstroming  
naar permanente  
putten**



## Reactie op het LTO-rapport over stationaire grondwaterstroming naar permanente putten

KWR 2017.093 | December 2017/April 2018

### Opdrachtnummer

402148

### Projectmanager

ir. J.W. Kooiman

### Opdrachtgever

VEWIN

### Kwaliteitsborgers

dr. ir. W.J. Zaadnoordijk (voormalig KWR) & prof. dr. G.J. Medema

### Auteur

prof. dr. ir. J.P.M. Witte

### Verzonden aan

VEWIN

Jaar van publicatie  
2017

### Meer informatie

Prof. dr. ir. J.P.M. Witte  
T 06-15239215  
E [flip.witte@kwrwater.nl](mailto:flip.witte@kwrwater.nl)

Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



KWR 2017.093 | December 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# Samenvatting

In opdracht van LTO Nederland heeft prof. dr. ir. C. van den Akker een rapport geschreven waarin hij een methode beschrijft om de gevolgen op de freatische grondwaterstand te berekenen van permanente grondwaterwinning in vrij afwaterende gebieden. Volgens die methode zou de landbouwschade ten gevolge van grondwaterwinning een factor 4-5 groter zijn dan thans wordt uitgekeerd, aldus Van den Akker. In hetzelfde rapport levert hij kritiek op een methode die door dr. ir. C. Maas is gebruikt in het geval Terwisscha om verschillen tussen mechanistische modellen en tijdreeksmodellen te verklaren vanuit het verschijnsel 'achtergrondverlaging'. Van den Akker suggereert ten slotte dat de analysemethode van Maas door de ASCG als gangbare procedure wordt gebruikt bij het vaststellen van grondwaterstandsval door grondwaterwinning. Die toepassing vindt hij bezwaarlijk en KWR zou daar tegen op moeten treden.

VEWIN heeft aan KWR verzocht het LTO rapport te beoordelen. Na bestudering komt KWR tot de volgende conclusies:

1. Het belangrijkste doel van het LTO rapport is dat de methode van Van den Akker voortaan als standaard wordt gebruikt bij het vaststellen van landbouwschade als gevolg van grondwateronttrekkingen. Deze methode is een tussenvorm van de formules van DeGlee en Dupuit en het staat natuurlijk iedereen vrij om hem te gebruiken. KWR kan er echter geen steunbetuiging aan geven, zoals LTO wenst, omdat hij is gebaseerd op onjuiste uitgangspunten, onvoldoende rekening houdt met het niet-lineaire gedrag van het bovenste grondwater, onvoldoende rekening houdt met ruimtelijke heterogeniteit, minder inzicht geeft dan tegenwoordig gangbare numerieke modellen, nooit gevalideerd is en praktisch niet goed toepasbaar is.
2. De stelling dat de drinkwaterbedrijven thans 4-5 keer te weinig schadevergoeding uitkeren wordt in het LTO rapport op geen enkele wijze onderbouwd.
3. In zowel het blad *Stromingen* als in de *NHV werkgroep Achtergrondverlaging* heeft Van den Akker volop de gelegenheid gekregen zijn bezwaren tegen de analyse van Maas te uiten. Zover wij kunnen nagaan heeft hij daarbij onder vakgenoten (hydrologen) geen bijval gekregen. KWR ziet geen aanleiding om de analyse van Maas te diskwalificeren, integendeel: zolang er geen afdoende verklaring is voor het verschijnsel achtergrondverlaging, is het verantwoord om daarvoor te corrigeren bij het gebruik van tijdreeksmodellen.
4. Omgekeerd laat het LTO-rapport na aan te geven hoe dan wel voor achtergrondverlaging dient te worden gecorrigeerd. Ook verzuimt het rapport de kritiek te ontkrachten die is geuit op de methode van Van den Akker.
5. De ASCG leidt achtergrondverlaging af van peilbuizen die buiten de invloed van grondwaterwinning liggen en alleen in die gevallen waarin de berekende verlaging door de winning afwijkt van de metingen. Het is alleen de verantwoordelijkheid van de ASCG om de correctie voor achtergrondverlaging op een juiste manier te doen. KWR is daar geen partij in.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Evaluatie van het LTO-rapport</b>	<b>6</b>
2.1	Reactie op de conclusies van het LTO rapport	6
2.2	Interpretatie door LTO van het KWR rapport over het geval Terwisscha	6
2.3	Beoordeling van de methode van Van den Akker	9
2.4	Teneur van de discussie	11
<b>3</b>	<b>Conclusies</b>	<b>14</b>
	<b>Referenties</b>	<b>15</b>
	<b>Bijlage I</b> Kanttekeningen bij gebruik van differentiaalvergelijking van v/d Akker (2013)	<b>17</b>

# 1 Inleiding

Grondwaterstanden fluctueren voortdurend, vooral onder invloed van neerslag en verdamping. Wanneer men tijdreeksen van de grondwaterstand gedegen analyseert, blijkt onder dit grillige patroon vaak een langjarige trend besloten. In studies wijst deze trend vaak op een structurele daling die groter is dan hydrologen met hun formules en computermodellen berekenen op basis van neerslag, verdamping en specifieke ingrepen. Het verschil tussen meting en berekening wordt 'achtergrondverlaging' genoemd.

Het verschijnsel werd voor het eerst gesignaleerd door H. Rolf, toen hij in het kader van het nationale onderzoek naar de verdroging van Nederland met tijdreeksanalyse de in peilbuizen gemeten grondwaterstand over de periode 1950-1986 analyseerde (Rolf, 1989). In het zandlandschap van Nederland, buiten de invloedssfeer van grondwaterwinningen, bleek de grondwaterstand gemiddeld drie decimeter meer te zijn gedaald dan hij op grond van variatie in neerslag en verdamping kon verklaren. Sindsdien zijn er meerdere onderzoekers geweest die zich over het fenomeen 'achtergrondverlaging' hebben gebogen.

De afgelopen jaren heeft het onderwerp meer dan ooit in de belangstelling gestaan in het blad *Stromingen* van de Nederlandse Hydrologische Vereniging. Dr. ir. C. Maas schreef over het geval Terwisscha een artikel waarin hij verscheidene resultaten van tijdreeksmodellen vergeleek met die van mechanistische modellen (analytische formules en numerieke modellen) (Maas, 2012). Tussen beide methoden vond hij een systematisch verschil dat hij kon elimineren door de met tijdreeksmodellen gevonden verlaging te verminderen met een schatting voor de achtergrondverlaging. Belangrijke boodschap van zijn artikel is dat bij tijdreeksanalyse rekening dient te worden gehouden met geleidelijke veranderingen in het landschap omdat de gevolgen daarvan anders ten onrechte worden toegeschreven aan de grondwaterwinning of, in het algemeen gesteld, aan de verklarende grootheden die wel in de analyse worden beschouwd.

Het artikel leidde tot diverse bijdragen van prof. dr. ir. C. van den Akker (Van den Akker, 2013, 2014a, b, c, 2015), met daar weer reacties op van collega-hydrologen (Van der Gaast, 2013; Leenen, 2014; Olsthoorn, 2014a, b). In het tweede nummer van jaargang 2015 kondigde de redactie van *Stromingen* de discussie over achtergrondverlaging te willen staken: nieuwe artikelen in de uitputtende discussie zouden niet meer worden geaccepteerd.

Tijdens een symposium in 2013 besloot de NHV een *Werkgroep Achtergrondverlaging* in het leven te roepen, met als doel de verschillende verklaringen aan een kritische analyse te onderwerpen. Na een oproep op de website van de NHV en in *Stromingen*, startte op 6 mei 2014 de werkgroep. Ook Van den Akker nam hieraan deel. In de werkgroep werd uitgebreid met Van den Akker gediscussieerd over zijn methode, die hij o.a. in *Stromingen* had beschreven. Na een zeer uitvoerige uitwisseling van gedachten kon Van den Akker geen draagvlak vinden bij de andere acht leden van de werkgroep. De kritiek die in de discussies naar voren werd gebracht en waarvan een deel hier is vastgelegd als Bijlage I, werd niet door hem weerlegd. Uiteindelijk besloot hij uit de werkgroep te stappen en werden op zijn verzoek al zijn bijdragen aan het eindrapport verwijderd (Werkgroep-Achtergrondverlaging, 2017).

De opvattingen en inzichten van prof. dr. C. van den Akker zijn thans opgenomen in een in opdracht van LTO Nederland geschreven rapport (Van den Akker, 2016). Deze is aan VEWIN, KWR en een aantal drinkwaterbedrijven toegestuurd.

**Verzoek Vewin aan KWR om inhoudelijke reactie op te stellen**

VEWIN heeft KWR verzocht schriftelijk te reageren op dit LTO-rapport, in het bijzonder om een analyse te geven “*van de door v/d Akker beschreven methode om de grondwaterstandverlaging te berekenen die het gevolg is van winningen bestemd voor drinkwaterproductie, waarbij duidelijk naar voren komt welke waarde gehecht wordt aan deze methode*” (opdracht per e-mail van 13 oktober 2017). Met dit rapport wordt dit verzoek ingewilligd.

## 2 Evaluatie van het LTO-rapport

### 2.1 Reactie op de conclusies van het LTO rapport

Prof. dr. ir. C. van den Akker vat zijn conclusies in het LTO-rapport als volgt samen:

1. *"Kennis over de relatie tussen geo-hydrologie en drainagesysteem is essentieel, deze kennis moet in de gebruikte rekenmethodiek tot uitdrukking komen.*
2. *Gegevens over de kenmerken van het drainagesysteem, zoals drainagebasis en randvoorwaarde voor de "De Glee" situatie, dienen bekend te zijn of bepaald te worden.*
3. *De situatie voordat de onttrekking een aanvang neemt, dient in termen van de grondwatertrap bekend te zijn.*
4. *De oorspronkelijke GT en de onmiddellijke totale onttrekking leiden in een stationaire berekening tot een onderschatting van de verlagingen en de grootte van het beïnvloede gebied.*
5. *Voor de vaststelling van de verlagingen per jaar is kennis nodig omtrent de volgtijdelijkheid van alle ingrepen.*
6. *Een controle op de waterbalans is noodzakelijk.*
7. *De in deze nota gebruikte methodiek geeft een goede indicatie van de stijghoogte verlagingen voor homogene, gebiedsgemiddelde situaties.*
8. *De gangbare methodiek, die de ACSG gebruikt voor de vaststelling van de verlagingen en de grootte van het beïnvloede gebied en die gebaseerd is op de berekeningsmethode van het KWR, dient herzien te worden".*

De meeste van deze conclusies worden van harte onderschreven, ook door de *Werkgroep Achtergrondverlaging*. Die heeft er bijvoorbeeld bij herhaling op gewezen dat de initiële ontwateringstoestand goed bekend moet zijn (ad 4), en dat goed rekening moet worden gehouden met de volgtijdelijkheid der ingrepen (ad 5). Dat de uitgangstoestand zo belangrijk is om de gevolgen van een winning te beoordelen, werd onlangs nog aangetoond door Witte *et al.* (2015): hij vond dat de grondwaterstands daling ten gevolge van winningen in de provincie Noord-Brabant kleiner is wanneer wordt uitgegaan van het landgebruik en de gewasopbrengsten van 1950, in plaats van die van 2010. Wij kunnen ons echter niet vinden in de zevende conclusie wegens de in § 2.3 vermelde redenen. Ook de laatste conclusie kunnen we niet onderschrijven omdat hij gebaseerd is op een ongefundeerde premisse: er bestaat, voor zover wij weten, geen gangbare ACSG methodiek die gebaseerd is op "*de berekeningsmethode van het KWR*", zomin als een dergelijke methode bestaat (§ 2.2).

Op enkele plaatsen in het LTO-rapport (pag. 4 en 19) wordt gesteld dat de landbouwschade een factor 4 á 5 hoger zou zijn dan met de zogenaamde KWR-methode zou worden berekend. Dit wordt echter nergens in het rapport onderbouwd. Terecht dat deze stelling ontbreekt in de samenvattende lijst met conclusies.

### 2.2 Interpretatie door LTO van het KWR rapport over het geval Terwisscha

Maas heeft een groot aantal studies naar de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van de winning te Terwisscha met elkaar vergeleken (Maas, 2011, 2012). Zoals in de inleiding vermeld, vond hij daarbij een systematisch verschil tussen de berekende verlaging uit tijdreeksanalyse, en de verlaging zoals berekend met mechanistische modellen. Dit verschil, ca. 3 dm, betitelde hij als 'achtergrondverlaging'. Hij was overigens niet de eerste die op het



verschijnsel achtergrondverlaging in het geval Terwisscha wees; eerder detecteerde Vitens (2007) over de periode 1961-1993 een achtergrondverlaging van 3 dm en HKV (2008) over de periode 1962-1983 een verlaging van 2 dm.

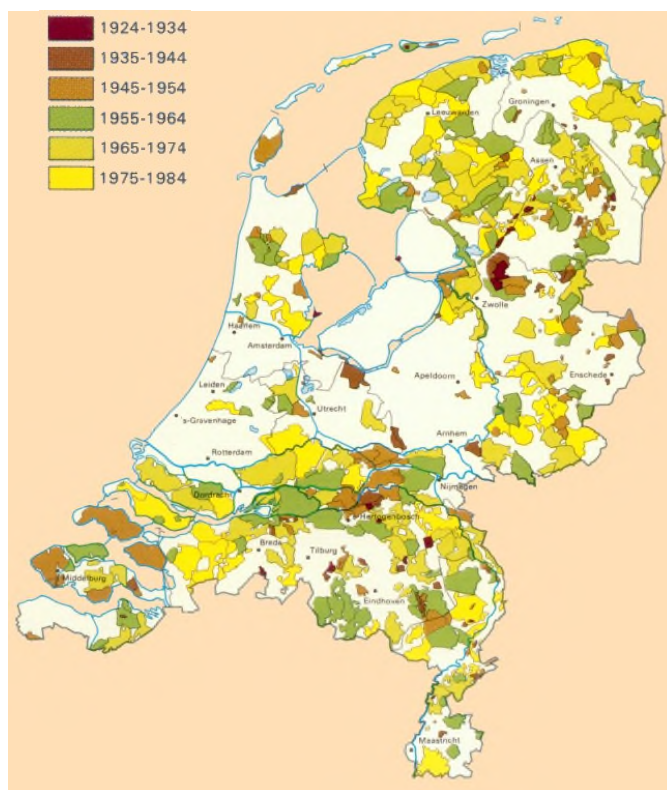
In het LTO-rapport wordt nu gesteld dat de analysemethode die Maas voor Terwisscha heeft toegepast bij de ACSG, standaard wordt gebruikt bij het vaststellen van grondwaterstandsval door grondwaterwinning. Het is ons niet precies duidelijk wat hiermee wordt bedoeld en het LTO-rapport draagt ook geen voorbeelden aan. Herhaaldelijke verzoeken aan Van den Akker om met voorbeelden te komen dat de ACSG zo zou werken, leverden niets op, behalve een ACSG-rapport uit 2015 'Schadeonderzoek Grondwaterwinning Terwisscha'. Overigens is dat nu juist een locatie waarin de inzichten van Maas wél een rol mogen spelen. De analyse van Maas was zeer zorgvuldig: hij harmoniseerde de verlagingen van verschillende studies door ze te corrigeren voor zowel de lengte van de analyseperiode als de beschouwde winhoeveelheid. Het is ons niet bekend of de ACSG dat ook op deze wijze doet. Volgens onze informatie leidt de ACSG achtergrondverlaging af van peilbuizen die buiten de invloed van grondwaterwinning liggen en alleen in die gevallen waarin de berekende verlaging door de winning afwijkt van de metingen (Klerks & Prak, 2014). Dit is een werkwijze met zogenaamde stambuizen die niet door Maas is uitgevonden, maar al eerder is toegepast, zoals in het geval Terwisscha (Vitens, 2007; HKV, 2008). Het is de verantwoordelijkheid van de ACSG om op een juiste manier te corrigeren voor achtergrondverlaging. KWR is daar geen partij in.

Achtergrondverlaging is dat deel van de verlaging waarvoor we geen afdoende verklaring hebben. Met het LTO-rapport zijn wij van mening dat het achterwege laten van een verklaring onbevredigend is. Daarom heeft KWR ook deelgenomen aan de *NHV Werkgroep Achtergrondverlaging*. KWR wil namelijk weten waardoor onze mechanistische modellen minder verlaging berekenen dan er daadwerkelijk is opgetreden. In de *NHV Werkgroep* zijn diverse fysische oorzaken genoemd (Werkgroep-Achtergrondverlaging, 2017), die in Tabel 1 zijn samengevat. Er is alle reden om aan te nemen dat deze oorzaken zich ook bij Terwisscha hebben gemanifesteerd. Zo tonen historische luchtfoto's aan dat het natuurgebied waarin de winning plaatsvindt, in de loop der jaren aanzienlijk is dichtgegroeid met struiken en bomen (Nijssen *et al.*, 2011), die meer verdampen dan heide en stuifzand. Dat heeft, net als in de rest van Nederland, mede te maken met atmosferische N-depositie en bezuinigingen op het natuurbeheer. Ook is de landbouwontwatering verbeterd, wat alles te maken heeft met de vooral vanaf begin jaren vijftig van de vorige eeuw uitgevoerde ruilverkavelingen (Figuur 1) (Jurgens *et al.*, 1986; Van den Bergh, 2004). Het LTO-rapport laat na te verantwoorden waarom zij deze fysische oorzaken geheel buiten beschouwing laat. Binnen de *Werkgroep Achtergrondverlaging* is Van den Akker er verscheidene keren op gewezen; onwetendheid kan het dus niet zijn. Als we de aanbevelingen van de werkgroep volgen (aanbeveling 5 uit het LTO-rapport), dan is het logisch om bij het vaststellen van de gevolgen van een winning die in het verleden is gestart uit te gaan van het landgebruik en de ontwateringstoestand uit dat verleden. Dat zal leiden tot andere schadebedragen.

We zijn het met Van den Akker (2015) eens dat buiten de invloedstraal die Maas in zijn analyse geeft ( $R = 4080$  m) ook nog water zal worden onttrokken voor de winning. Veel zelfs, want het gaat bij die invloedstraal om een grote omtrek (26 km) waarover het grondwater toestroomt. Dit is triviaal en geldt natuurlijk eveneens voor iedere verlagingsslijn van 5 cm waarbuiten de ACSG geen gewasschade meer in rekening brengt. Maas heeft dit ook nooit tegengesproken, integendeel, hij schijft op p. 71 van zijn artikel: "In werkelijkheid kan een verlagingsskegel natuurlijk niet abrupt ophouden. Omstreeks 4080 m moet de schuine lijn geleidelijk overgaan in de horizontale.

TABEL 1. OORZAKEN VAN ACHTERGRONDVERLAGING EN HUN GESCHATTE EFFECTEN OP DE GEMIDDELTE GRONDWATERSTAND. DEZE EFFECTEN MOGEN NIET WORDEN GESOMMEERD (VAN BAKEL & WITTE, IN DRUK).

Oorzaak	Effect op de gemiddelde grondwaterstand (cm t.o.v. N.A.P.) (negatief is verlaging)	Opmerkingen
Berekening	p.m.	Sterk afhankelijk van weerjaar en regio maar bekend uit o.a. LHM
'Verbetering' van de waterhuishouding t.b.v. de landbouw	-20 tot -30	Voor zandgebieden verder uitgesplitst en redelijk in beeld gebracht in rapport
Peilbesluiten	-10 tot -50	Maaiveld is voor 60 tot 90% meegedaald
Grootschalige ingrepen	p.m.	Zijn goed kwantificeerbaar
Wijziging in landgebruik en stijging van gewasopbrengsten	ten minste -20 cm	Effect bebossing onbekend; effect verstedelijking aanzienlijk; effect stijging gewasopbrengsten aanzienlijk, met name in zandgebieden
Verandering neerslag en verdamping	0 tot 10 cm	Verhoging wintergrondwaterstand en verlaging zomergrondwaterstand. Wordt meestal geen rekening mee gehouden



FIGUUR 1. START VAN DE UITVOERING VAN LANDINRICHTINGSWERKEN (JURGENS ET AL., 1986).

---

## Een keukentafelberekening

De winning van Terwisscha vindt plaats in een natuurgebied zonder oppervlaktewater waarvoor Van den Akker (2015) een straal aanneemt van  $R = 3$  km. In zijn analyse schetst hij drie scenario's van achtergrondverlaging, die alle drie (a, b, c) buiten dit natuurgebied optreden ( $r \geq R$ ). Binnen het gebied ligt het Aekingerzand. In 1960 (start van de winning) bestond dit volgens Nijssen *et al.* (2011) grofweg voor 50% uit kaal zand en pioniervegetatie; in 2000 was dat aandeel teruggelopen tot ca. 30%. In diezelfde periode steeg het areaal bos en heide van 20 tot 50%. Als we nu, op grond van literatuuronderzoek (Spieksma *et al.*, 1996; Dolman *et al.*, 2000; Voortman *et al.*, 2015; Voortman *et al.*, 2016; Voortman *et al.*, 2017), aannemen dat de verdamping van pioniervegetatie en kaal zand  $300 \text{ mm.jr}^{-1}$  bedraagt, van bos en heide  $600 \text{ mm.jr}^{-1}$  en van overige vegetaties  $450 \text{ mm.jr}^{-1}$ , dan hebben deze veranderingen geleid tot een gemiddelde afname van de grondwateraanvulling van  $75 \text{ mm.jr}^{-1}$ . Geëxtrapoleerd naar het hele natuurgebied ( $R = 3$  km) is dit een hoeveelheid van  $2.5 \text{ Mm}^3\text{jr}^{-1}$ , ofwel 40% van de onttrekking van  $6.5 \text{ Mm}^3\text{jr}^{-1}$ . Conclusie: Van den Akker had er op zijn minst een scenario bij moeten nemen (d): de achtergrondverlaging begint bij  $r = 0$ .

---

De werkgroep onderscheidt naast fysische oorzaken ook procedurele oorzaken van achtergrondverlaging. Daaronder vallen foute rekenmethoden. Het LTO-rapport richt zich op alleen op de laatste categorie. In het rapport wordt de analyse van Maas bekritiseerd en als alternatief de analytische rekenmethode van Van den Akker aangeprezen. Zoals vermeld was de analyse van Maas echter bedoeld om geconstateerde verschillen tussen tijdreeks- en mechanistische modellen te verklaren, en niet om de gevolgen van de winning vast te stellen. De vraag of de methode van Van den Akker een positieve bijdrage levert aan het schatten van de gevolgen van grondwaterwinning in vrij-afwaterende gebieden, komt in de volgende paragraaf aan de orde.

### 2.3 Beoordeling van de methode van Van den Akker

Voor vrij afwaterende gebieden meent Van den Akker een bruikbare methode te hebben gevonden waarmee de daling van de grondwaterstand ten gevolge van een permanente grondwaterwinning kan worden vastgesteld. De LTO-notitie propageert brede navolging van die methode. Onze analyse levert het volgende op:

1. De differentiaalvergelijking die de kern vormt van de rekenmethode van Van den Akker is correct afgeleid van de aannames die eraan ten grondslag liggen.
2. Op de toepasbaarheid in de praktijk valt het volgende aan te merken:
  - a. Een drempel voor praktische toepassing is het feit dat de differentiaalvergelijking numeriek opgelost moet worden, wat niet kan met de standaardhulpmiddelen van hydrologen.
  - b. Een tweede drempel zijn de grote abstracties van de werkelijkheid die nodig zijn (axiaal-symmetrie, uniforme freatische grondwaterstand als uitgangssituatie) en het ontbreken van uitkomsten die met metingen vergeleken kunnen worden.
  - c. De derde drempel is dat de parameters voor deze situatie niet goed bekend zijn en de topsysteemparameters op ongebruikelijke wijze zijn geformuleerd zodat hydrologen er geen ervaring mee hebben.
  - d. Wegens het gebruik van gebiedsgemiddelde eigenschappen kan niet direct gebruik gemaakt worden van allerlei beschikbare informatie als REGIS (zie <http://www.dinoloket.nl>), de bodemkaart en het Nederlands Hydrologisch

Instrumentarium (NHI). Bovendien kunnen resultaten niet direct gekoppeld worden aan specifieke agrarische percelen.

- e. Ten slotte is de methode alleen geschikt om een jaargemiddelde verlaging te bepalen, terwijl voor berekening van landbouwschade inzicht nodig is in de verlaging in de loop van het jaar (zoals de GLG en GHG bij de HELP-tabellen).

Een deel van deze bewaren (b, d, e) geldt ook voor gangbare analytische oplossingen als die van De Glee en van Dupuit, maar daarvan is wel algemeen bekend wat hun beperkingen zijn.

3. Op pg. 6 (eind 2e alinea) van de LTO-notitie staat: "*We nemen aan dat een lagere grondwaterstand niet leidt tot een verandering van de gewasverdamping, hetgeen bij droogtegevoelige gronden uiteraard niet het geval hoeft te zijn*". Als de schade een factor 4-5 keer hoger is dan nu wordt uitgekeerd, zoals Van den Akker beweert, kan deze aanname tot aanzienlijke fouten leiden. Deze basale aanname is in tegenspraak met de wens landbouwschade te berekenen: als er geen verdampingsreductie is, kan er ook geen schade zijn. De gewasproductie is immers recht-evenredig gerelateerd aan de gewasverdamping: hoe meer biomassa er bijgroeit, des te hoger de verdamping (De Wit, 1958; Aarts, 2000). Deze wetmatigheid is zelfs de basis van agrohydrologische modellen, zoals SWAP (Kroes & Van Dam, 2003; Van Dam *et al.*, 2008)). De aanname van Van den Akker komt derhalve neer op de veronderstelling dat er geen gewasschade is; vervolgens zou met die methode toch gewasschade moeten worden berekend, schade die onomstotelijk moet leiden tot verdampingsreductie.
4. De methode maakt gebruik van een in een specifiek gebied gevonden empirische relatie tussen grondwaterstand en oppervlakteafvoer (drainage) (Ernst, 1971). In de LTO-notitie wordt nagelaten aan te tonen dat deze relatie algemeen geldig is. Er bestaat geen enkele reden om te veronderstellen dat dit zo zou zijn.
5. De methode gaat uit van gebiedsgemiddelde eigenschappen en een initiële gebiedsrepresentatieve gemiddelde grondwaterstand. Wegens het niet-lineaire gedrag van het topsysteem zullen gemiddelden zelden leiden tot een correct berekende gemiddelde grondwaterstands daling, zelfs niet onder de foute aanname dat de grondwateraanvulling niet wijzigt door de winning. Op uitdrukkelijk verzoek van Van den Akker heeft een van de leden van de *NHV Werkgroep Achtergrondverlaging* dit ook aangetoond met een notitie. Van den Akker heeft in de werkgroep vervolgens verzocht dat deze notitie, die hier als Bijlage I is opgenomen, uit het eindrapport van de werkgroep zou worden verwijderd. Dit verzoek werd door de werkgroep ingewilligd. Op de notitie heeft hij nimmer gereageerd.
6. Met de huidige numerieke rekenmodellen kunnen we veel beter rekening houden met het niet lineaire gedrag van het topsysteem. Niet alleen doordat niet-lineaire drainagefuncties kunnen worden gebruikt die voor ieder gebied weer anders zijn, maar ook doordat die modellen rekening kunnen houden met verdampingsreductie door een vochttekort of door wateroverlast. De ACSG stelt zelfs dat: "*altijd, en dus ook in het geval Terwisscha, de verlaging a.g.v. een winning is gebaseerd op numerieke modelberekeningen*" (mondelinge mededeling H. Prak, in Van Bakel (2013)). De methode die LTO voorstaat heeft geen toegevoegde waarde boven numerieke modellen.
7. Op pag. 20 (laatste regels) vermeldt de LTO-notitie: "*Een berekening van de verlaging van de grondwaterstand en een doorvertaling naar verdampingsreducties en schadebedragen is daarmee vrijwel ondoenlijk met analytische formules. In deze situatie*

*ligt het voor hand numerieke modellen te gebruiken*". Hier constateert Van den Akker zelf dat zijn gepresenteerde analytische methode niet voldoet voor de schadeberekeningen.

8. De methode is niet getoetst aan de resultaten van een numeriek model dat wel rekening kan houden met het niet-lineaire gedrag van het top-systeem. Door Vitens is dat voor het geval Terwisscha wel gedaan (Buyse, 2017/2018). Het gaat om een vergelijking van twee schadekaarten die bepaald zijn volgens de TCGB tabel: de ene kaart is gebaseerd op de verlagingen die zijn berekend met de methode van Van den Akker, de andere op verlagingen die volgens de gangbare methode zijn bepaald door de ACSG zelf. Vitens concludeert dat de verschillen tussen beide methoden helemaal niet zo groot zijn: in ongeveer de helft van het gebied valt de schade iets lager uit, in de andere helft iets hoger (Buyse, 2017/2018). De verschillen ontstaan doordat de methode van Van den Akker geen rekening houdt met ruimtelijke heterogeniteit, zoals de lokale aanwezigheid van potklei in de ondergrond. De stelling van Van den Akker dat zijn methode tot 4 á 5 maal grotere schades leidt, dient op basis van deze studie in ieder geval te worden verworpen. Voor meer informatie over deze vergelijking wordt hier verwezen naar Vitens.
9. Er wordt in het rapport vanuit gegaan dat de methode Van den Akker juist is en overal navolging verdient, en dat de numerieke berekeningen tot nu toe niet deugen. Wie stelt moet bewijzen, maar het LTO-rapport verzuimt aan te geven wat er niet deugt aan de gebruikte numerieke berekeningen.

#### 2.4 Teneur van de discussie

In de vorige paragrafen 2.2 en 2.3 is hydrologisch-inhoudelijk gereageerd op het LTO-rapport. In deze paragraaf stellen wij de teneur van de discussie die Van den Akker tot nu toe voert aan de orde. Wij zijn van mening dat een inhoudelijk gesprek verschoont moet blijven van suggestieve en niet onderbouwde stellingen. Op de volgende plaatsen zien wij die terug:

1. In het LTO-rapport wordt consequent gesproken over de 'gangbare KWR-methode'. Van den Akker is herhaaldelijk verzocht te stoppen met deze aanduiding omdat er geen 'KWR methode' bestaat; toch blijft hij hiermee doorgaan.
2. Het LTO-rapport beroept zich op anonieme bronnen om het pleidooi kracht bij te zetten, zoals 'deskundigen' (voorwoord, tweede alinea), 'steeds meer hydrologen' die het met Van den Akker eens zijn (voorwoord, vierde alinea), 'een aantal hydrologen' door wie 'steeds meer vraagtekens [worden] gezet bij de door het KWR gebruikte methodiek' (p. 4, tweede alinea). Referenties ontbreken, zodat niet kan worden vastgesteld wat deze adhesiebetuigingen waard zijn.

Laten wij hier dan enkele feiten tegenover stellen: (1) In het vakblad *Stromingen* hebben wij geen publicaties anders dan die van Van den Akker kunnen vinden die de analyse van Maas (2011) bekritisieren; wel publicaties die commentaar op de werkwijze van Van den Akker geven. (2) Wat vaststaat is dat veel hydrologen gestemd hebben op het artikel dat Maas over het geval Terwisscha publiceerde (Maas, 2012), zodat dit door de Nederlandse Hydrologische Vereniging werd bekroond met de prijs voor het beste artikel van de afgelopen twee jaar in *Stromingen*. (3) Ook staat vast dat de *Werkgroep Achtergrondverlaging*, na uitvoerige discussies met Van den Akker, niet heeft besloten de methode van Maas te verwerpen.

De geconstateerde teneur in het LTO-rapport kwam eerder al tot uiting in artikelen en in een brief aan KWR:

3. Toen niemand reageerde op zijn artikel *Tussen Dupuit en De Glee* (Van den Akker, 2013) schreef Van den Akker in het daarop volgende nummer van *Stromingen* dat dat wel zou komen doordat er financiële belangen met het probleem gemoeid zouden zijn, er bestuurlijke druk zou zijn uitgevoerd, etc. (Van den Akker, 2014b)<sup>1</sup>. Dit soort beschuldigingen passen op geen enkele wijze in een hydrologisch-inhoudelijke discussie, erger nog, zij kunnen een goed gesprek frustreren.
4. Van den Akker verkondigde met stelligheid in *De Nieuwe oogst* (edities 6 en 30 maart 2017) dat hij met zijn methode heeft aangetoond dat de schade door grondwaterwinning tot nu toe veel te laag is ingeschat. Ook hier verwijt hij KWR en de drinkwaterbedrijven dat ze niet voor rede vatbaar zijn: *“De oud-hoogleraar kritiseert de houding van de waterbedrijven die niet openstaan voor nieuwe argumenten. Hun gezamenlijke onderzoeksinstituut KWR houdt volgens hem steeds de boot af. ‘Het gevolg is dat ze de individuele boer met het probleem opzadelen’”*. Het lijkt er sterk op dat hij discussies met vakgenoten uit de weg gaat, maar zijn opvattingen wel uitbrengt bij het meest verkochte vakblad voor agrariërs. Van iemand die al jarenlang probeert af te dwingen dat zijn methode wordt gebruikt, had mogen worden verwacht dat hij die eerst had gepubliceerd in een gezaghebbend internationaal peer reviewed tijdschrift, voordat hij een populair medium opzoekt.
5. Als adviseur van LTO schreef Van den Akker een brief aan KWR (brief van 21-3-2016):
  - a. In die brief staan beschuldigingen over het gedrag van C. Maas, zonder deze vakgenoot van die beschuldigingen op de hoogte te stellen door de brief in afschrift naar hem te verzenden.
  - b. Van den Akker meldt verder dat hij diverse keren naar KWR zou zijn afgereisd, maar dat niemand met hem wilde spreken. Dit klopt niet:
    - Van den Akker heeft uitgebreid gecorrespondeerd met dr. ir. C. Maas, dr. ir. W.J. Zaadnoordijk en met schrijver dezes, alleen kwam het nooit tot een vergelijk.
    - Bovendien heeft schrijver dezes op verzoek van Van den Akker op 2 februari 2015 een overleg gepland met het afdelingshoofd en een projectleider van KWR, maar Van den Akker zag daar op het laatste moment vanaf omdat hij plots niet met het management wilde praten, maar alleen met deskundigen over de inhoud, zonder aan te geven waarom die inhoud anders zou zijn dan de inhoud die in de *Werkgroep Achtergrondverlaging* in dezelfde periode besproken werd naar aanleiding van de presentaties van Van den Akker.
    - Ook heeft Van den Akker onlangs (20 november 2017) een uitnodiging van KWR afgeslagen om inhoudelijk te praten over het LTO-rapport. Dit keer waren de redenen voor de afwijzing dat een van de beoogde gesprekspartners (Zaadnoordijk, opsteller van de analyse die in Bijlage I is opgenomen en waar Van den Akker nooit op heeft gereageerd) tegenwoordig werkt bij TNO en dat

<sup>1</sup> Citaat uit Van den Akker (2014b):

*“Wat kan de reden zijn dat er, in ieder geval naar mij, niet wordt gereageerd.*

*Wellicht spelen de volgende overwegingen een rol:*

- *Men begrijpt de materie niet en neemt niet de moeite om de gedachtegang te volgen en de afleidingen te begrijpen.*
- *Het probleem ligt te gevoelig, er zijn grote financiële belangen mee gemoeid.*
- *Reageren betekent stellingname en men is bang daarmee “probleemhouder” te worden.*
- *Er wordt bestuurlijke druk uitgeoefend om het onderwerp van de agenda te houden.*
- *Het is lastig om terug te komen op eerder ingenomen standpunten en getrokken conclusies, kortom er dreigt reputatieschade”.*

hij KWR niet wilde helpen met het opstellen van een evaluatie van het LTO rapport.

- c. Van den Akker beweert in zijn brief dat “*enkele leden*” van de *Werkgroep Achtergrondverlaging* om politieke redenen afzagen van een verwijzing naar het BTO-rapport over Terwisscha (Maas, 2011), en dat daarmee werd “*bereikt dat een inhoudelijke evaluatie van de foutieve hydrologische analyses in het BTO rapport wordt weggemoffeld onder de noemer van ongewenste politieke gevoeligheid*”. Van den Akker valt hier als LTO-adviseur de werkgroep af, waar hij volgens afspraak op persoonlijke titel in zou zitten. Zijn voorstelling van zaken is bovendien bezijden de waarheid: in de eerste bijeenkomst van de werkgroep spraken alle leden, Van den Akker inclusief, af om de opdracht van de werkgroep niet te belasten met politiek gevoelige zaken, om alleen op zoek te gaan naar de oorzaken van achtergrondverlaging, en om de gevolgen daarvan buiten beschouwing te laten. Het was Van den Akker zelf die in de eerste vergadering verklaarde dat hij over het geval Terwisscha niet kon praten, omdat hem dat door de provincie Friesland op straffe van een juridisch proces was verboden.

Al met al vinden we het jammer dat Van den Akker de discussie op deze wijze voert, met onzes inziens onjuiste en ongefundeerde beschuldigingen aan het adres van de drinkwatersector. Een inhoudelijke discussie kan hierdoor ernstig worden belemmerd.

## 3 Conclusies

1. In tegenstelling tot de suggestie in het LTO-rapport, bestaat er geen KWR-methode voor het vaststellen van grondwaterstandsaling ten gevolge van een permanente winning.
2. Er is niet vastgesteld dat de ACSG een gangbare rekenmethodiek heeft die is gebaseerd op de zogenaamde KWR-methode. Voorbeelden zijn door LTO niet aangedragen.
3. Het LTO-rapport negeert relevante literatuur en bestaande kennis, zoals onder andere recentelijk bijeengebracht door de Werkgroep-Achtergrondverlaging (2017), laat de kritiek overeind die op de methode Van den Akker is geuit en draagt geen oplossingen aan om bij het vaststellen van de gevolgen van een winning rekening te houden met achtergrondverlaging.
4. De door LTO voorgestelde methode die is ontwikkeld door prof. dr. ir. C. van den Akker:
  - a. Houdt onvoldoende rekening met het niet-lineaire karakter van het topsysteem;
  - b. Maakt gebruik van een empirische drainagefunctie waarvan de algemene geldigheid niet is aangetoond, noch aannemelijk is gemaakt;
  - c. Houdt onvoldoende rekening met ruimtelijke heterogeniteit in hydraulische gebiedskarakteristieken;
  - d. Houdt geen rekening met variatie in de tijd, die voor landbouwschade wel van belang is (bijvoorbeeld in GHG en GLG);
  - e. Is niet door LTO getoetst aan de uitkomsten van een numeriek hydrologisch model waarin het niet lineaire gedrag van het topsysteem wel is opgenomen;
  - f. Houdt geen rekening met andere invloeden op de grondwaterstand;
  - g. Is overbodig, gegeven de beschikbaarheid van de huidige numerieke modellen.
5. Voor een juiste berekening van de grondwaterstandsaling die optreedt ten gevolg van een permanente grondwaterwinning is het noodzakelijk dat:
  - a. De geohydrologische eigenschappen goed bekend zijn, vooral de drainagefunctie;
  - b. Rekening wordt gehouden met de verdampingsreductie ten gevolge van grondwaterstandsaling;
  - c. De oppervlaktewaterpeilen in de uitgangssituatie bekend zijn;
  - d. De volgtijdelijkheid van alle ingrepen in het gebied juist gesimuleerd worden.

Deze punten komen in grote lijnen overeen met de eerste conclusies uit het LTO-rapport en zijn volledig in lijn met de aanbevelingen van de *Werkgroep Achtergrondverlaging*.

6. Daar waar hydrologische relevante historische veranderingen in het landschap niet kunnen worden gekwantificeerd, zien wij geen bezwaar tegen een correctie van tijdreeksmodellen in de vorm van een 'geobserveerde' achtergrondverlaging.
7. De teneur van het LTO-rapport is op meerdere plaatsen suggestief en bevat teveel niet onderbouwde stellingen. Dat bemoeilijkt een inhoudelijk gesprek.

De algemene conclusie is dat de in het LTO-rapport gepresenteerde rekenmethode tekort schiet om als nieuwe standaard te worden ingezet bij het berekenen van landbouwschade als gevolg van grondwateronttrekkingen.



# Referenties

- Aarts, H.F.M. (2000) *Resource management in a 'De Marke' dairy farming system*. Wageningen University, Wageningen.
- Buyse, J.J. (2017/2018) Reactie op de LTO brief d.d. 22 december 2016. p. 4. Vitens
- De Wit, C.T. (1958) *Transpiration and crop yields*. Pudoc, Wageningen.
- Dolman, H., Moors, E., Elbers, J., Snijders, W. & Hamaker, P. (2000) Het waterverbruik van bossen in Nederland. Alterra, Wageningen.
- 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**, 158-180.
- HKV (2008) Review grondwaterdaling als gevolg van drinkwaterwinning in Terwisscha. HKV Lijn in water
- Jurgens, C.R., Steenhuis, G., Klein Koerkamp, G.J. & Klootwijk, J.R. (1986) *Deel 20. Landinrichting, Atlas van Nederland*. Staatsuitgeverij.
- Klerks, S. & Prak, H. (2014) Reactie naar aanleiding van het verslag over de NHV Najaarsbijeenkomst 2013 in Stromingen 3&4 (2013). *Stromingen*, **20**, 71.
- Kroes, J.G. & Van Dam, J.C. (2003) Reference Manual SWAP version 3.0.3. Alterra, Green World Research, Wageningen.
- Leenen, H. (2014) Reactie op artikel "Tussen Theis en Hantush" van Cees van den Akker. *Stromingen*, **20**, 53-58.
- Maas, C. (2011) Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse. Het geval Terwisscha. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Maas, C. (2012) Het geval Terwisscha. *Stromingen*, **18**, 43-76.
- Nijssen, N., Riksen, M.J.P.M., Sparrius, L., Kuiters, L., Kooiman, A., Bijlsma, R.J., Jungerius, P., Van den Burg, A., Van Dobben, H., Ketner-Oostra, R., Van Swaay, C., Van Turnhout, C. & De Waal, R. (2011) Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden. OBN stuifzandonderzoek 2006-2010. p. 293. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den-Haag.
- Olsthoorn, T. (2014a) De dynamica van de verlaging van Terwisscha of in vergelijkbare situaties. *Stromingen*, **20**, 15-33.
- Olsthoorn, T. (2014b) Tussen De Glee en Dupuit, revisited. *Stromingen*, **20**, 35-55.
- Spieksma, J.F.M., Dolman, A.J. & Schouwenaars, J.M. (1996) De parametrisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen. RU Groningen [etc.], Groningen [etc.].
- Van Bakel, J. (2013) Verslag: NHV Najaarsbijeenkomst 2013 'De achtergrondverlaging op de voorgrond'. *Stromingen*, **19**, 141-146.
- Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. & Kroes, J.G. (2008) Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone J.*, **7**, 640-653.
- Van den Akker, C. (2013) Tussen Dupuit en De Glee: Het ontstaan van de Toegevoegde Stijghoogteverlaging. *Stromingen*, **19**, 5-23.

- Van den Akker, C. (2014a) Tussen Theis en Hantush. *Stromingen*, **20**, 37-42.
- Van den Akker, C. (2014b) Een fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor. *Stromingen*, **20**, 5-13.
- Van den Akker, C. (2014c) De verandering van de GXG door grondwateronttrekkingen in vrij afwaterende gebieden. *Stromingen*, **20**, 37-48.
- Van den Akker, C. (2015) Is de balans zoek? *Stromingen*, **22**, 7-12.
- Van den Akker, C. (2016) Analyse van de stationaire grondwaterstroming naar permanente putten in vrij afwaterende gebieden. p. 26. LTO Nederland, Den-Haag.
- Van den Bergh, S.M. (2004) *Verdeeld land. De geschiedenis van de ruilverkaveling in Nederland vanuit een lokaal perspectief, 1890-1985*. Wageningen Universiteit.
- Van der Gaast, J. (2013) Grondwaterwinnings nader beschouwd. *Stromingen*, **19**, 63-81.
- Vitens (2007) Bepaling achtergrondverdroging Terwisscha. Vitens
- Voortman, B., Witte, J.P.M., Van Rheenen, H., Bosveld, F., Elbers, J., Van der Bolt, F., Heijkers, J., Hoogendoorn, J., Bolman, A., Spek, T. & Voogt, M. (2016) Resultaten van een nieuwe en handzame lysimeter; eerste stap naar een nationaal netwerk voor de werkelijke verdamping? *Stromingen*, **22**, 49-63.
- Voortman, B.R., Bartholomeus, R.P., Van der Zee, S.E.A.T.M., Bierkens, M.F.P. & Witte, J.P.M. (2015) Quantifying energy and water fluxes in dry dune ecosystems of the Netherlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 3787-3805.
- Voortman, B.R., Fujita, Y., Bartholomeus, R.P., Aggenbach, C.J.S. & Witte, J.P.M. (2017) How the evaporation of dry dune grasslands evolves during the concerted succession of soil and vegetation. *Ecohydrology*,
- Werkgroep-Achtergrondverlaging (2017) Zicht op achtergrondverlaging. p. 56. Nederlandse Hydrologische Vereniging, Wageningen.
- Witte, J.P.M., Leunk, I., Cirkel, D.G., Aarts, H.F.M. & Zaadnoordijk, W.J. (2015) Achtergrondverlaging en grondwateraanvulling in Noord-Brabant. *Stromingen*, **24**, 53-65.

# Bijlage I Kanttekeningen bij gebruik van differentiaalvergelijking van v/d Akker (2013)

**Notitie van:** Willem Jan Zaadnoordijk  
**Datum:** 26 februari 2017  
**URL:** [http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank/attachment/memobijdiffvdakker\\_v4\\_opm-jvb-20-maart-2017/](http://www.debakelsestroom.nl/kennisbank/attachment/memobijdiffvdakker_v4_opm-jvb-20-maart-2017/)

## Inleiding

De differentiaalvergelijking die Van den Akker (2013) presenteert heeft aanleiding gegeven tot discussie, in de NHV-werkgroep Achtergrondverlaging en ook tussen mensen daarbuiten. Deze notitie zet enkele aspecten op een rij in een poging om tot een groter gedeeld inzicht te komen met betrekking tot beperkingen van de differentiaalvergelijking en de consequenties daarvan voor gebruik ervan in de praktijk.

De notitie geeft een aantal onafhankelijke redeneringen die ieder voor zich laten zien dat van den Akker (2013) andere invloeden dan een permanente onttrekking in het watervoerend pakket zeer sterk schematiseert en daardoor zeer beperkt rekening houdt met niet-lineaire interacties, en dat terwijl van den Akker steeds het belang van de niet-lineariteit en volgtijdelijkheid onderstreept heeft.

Ik heb deze notitie op persoonlijke titel geschreven op basis van een afspraak in de NHV-werkgroep Achtergrondverlaging, zonder afstemming met of instemming van KWR. Na de publicatie van Van den Akker (2016) heb enkele aanpassingen aangebracht.

## Aannames bij de afleiding van de differentiaalvergelijking

### *Algemeen: Verlagingsberekening*

Een verlagingsberekening via een differentiaalvergelijking houdt superpositie in. Verlaging  $s$  ten gevolge van een ingreep is het verschil tussen de stijghoogte  $\phi$  in situatie A met de ingreep en situatie B zonder de ingreep:

$$s = \phi_A - \phi_B \quad [1]$$

Waarbij  $\phi_A$  en  $\phi_B$  aan dezelfde differentiaalvergelijking voldoen. Als daarbij ook  $s$  beschreven wordt met dezelfde differentiaalvergelijking hebben we de definitie van superpositie die zegt dat een lineaire combinatie van oplossingen ook voldoet aan de differentiaalvergelijking. Bij een niet-lineair systeem is de differentiaalvergelijking voor een verlaging wezenlijk anders dan de differentiaalvergelijking die de stijghoogten beschrijft. Dit betekent dat de parameters niet direct aan metingen geïkt kunnen worden en ook niet zomaar overgenomen mogen worden van een model dat stijghoogten beschrijft.

### *Definitie overdrachtsfactor*

Van den Akker (2013) definieert een overdrachtsfactor  $F$  als de verhouding tussen verandering van de grondwaterstand en die van de stijghoogte en stelt daarbij:

*De waarde van de overdrachtsfactor  $F$  is een functie van de grondwaterstand  $h$  [m]. Uiteraard kennen we niet het exacte verloop van  $F$  als functie van  $h$ .*

Door ervan uit te gaan dat  $F$  alleen afhankelijk is van de grondwaterstand  $h$  is impliciet aangenomen dat  $F$  niet op een directe wijze van andere factoren afhangt. Ook de mogelijkheid dat  $F$  in werkelijkheid kan variëren in de tijd, is met de definitie van Van den Akker uitgesloten.

Dat  $F$  in werkelijkheid niet alleen van  $h$  afhangt, kan eenvoudig worden geïllustreerd door de invloed van verdamping (bijv. toename door bosaanplant) te beschouwen naast de invloed van een winning. Bij extra verdamping is de freatische verandering groter dan de verlaging in het watervoerend pakket ( $F \leq 1$ ) terwijl bij een winning geldt dat de verlaging in het watervoerend pakket groter is ( $F \geq 1$ , zie Van den Akker, 2013).

Van den Akker (2013) sluit andere invloeden dat een diep onttrekking uit in zijn definitie van de overdrachtsfactor.

#### *Afleiding vanaf algemene differentiaalvergelijking*

Uitgangspunt voor de afleiding is een differentiaalvergelijking voor grondwaterstroming in een watervoerend pakket (zie bijvoorbeeld Fitts, 2002) met de aannamen:

- Het grondwater is onsamendrukbaar;
- Het grondwater heeft een constante dichtheid;
- De onderkant van het watervoerend pakket is horizontaal;
- De doorlatendheid is isotroop en homogeen;
- De verticale doorlatendheid heeft een verwaarloosbare invloed op de stroming;
- De bergingscoëfficiënt is constant.

De bijbehorende differentiaalvergelijking is vergelijking 5.66 in Fitts (2002):

$$k \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( f \frac{\partial f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( f \frac{\partial f}{\partial y} \right) \right] + R = S \frac{\partial f}{\partial t} \quad [2]$$

Waarin:

$k$	=	doorlatendheid [L/T]
$f(x, y, t)$	=	stijghoogte gemeten vanaf de onderkant van het watervoerend pakket [L]
$x, y$	=	horizontale coördinaten [L]
$t$	=	tijd [T]
$R(x, y, t)$	=	toestroming naar het watervoerend pakket [L/T]
$S$	=	bergingscoëfficiënt [-]

Met de extra aannamen:

- Verzadigde dikte van het watervoerend pakket varieert niet in de tijd;
- Het product van de verzadigde dikte en doorlatendheid is constant

Wordt de differentiaalvergelijking:

$$T \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + R = S \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad [3]$$

Waarin:

$T$  = product van watervoerende dikte en doorlatendheid ofwel doorlaatvermogen [ $L^2/T$ ]  
 $\varphi(x, y, t)$  = stijghoogte ten opzichte van een referentieniveau [L]

De topsysteembenadering van Van den Akker (2013) kan gebruikt worden om de toestroming naar het watervoerend pakket  $R$  vast te leggen. Hij beschrijft de toestroming naar het watervoerend pakket met de freatische grondwaterstand en de verticale weerstand van de deklaag (1<sup>e</sup> vergelijking op bladzijde 13 in van den Akker, 2013):

$$q = - \frac{h - \varphi}{c} \quad [4]$$

Waarin:

$q(x, y, t)$  = verticale stroming door de deklaag [ $L/T$ ]  
 $h(x, y, t)$  = gebiedsgemiddelde grondwaterstand ten opzichte van NAP [L]  
 $c$  = verticale weerstand van de deklaag [T]

Daarnaast geldt op basis van continuïteit in het topsysteem:

$$U = q + N \quad [5]$$

Waarin:

$U(h)$  = gebiedsgemiddelde afvoer [ $L/T$ ]  
 $N(x, y, t)$  = grondwateraanvulling (neerslag minus actuele verdamping)

Combinatie levert:

$$U = N - \frac{h - \varphi}{c} \quad [6]$$

Deze relatie legt  $h$  vast als functie van  $N$ ,  $\varphi$  omdat  $U$  een-op-een gerelateerd is aan  $h$ :

$$h = \xi \quad [7]$$

Waarin de letter  $\xi$  geïntroduceerd wordt om aan te geven dat de freatische grondwaterstand  $h$  niet langer een separate variabele is maar een bekende functie van de andere variabelen:

$$\xi(N, \varphi, c) = \varphi - c(U - N) \quad [8]$$

Hieruit volgt:

$$q = -\frac{\xi - \varphi}{c} = -R \quad [9]$$

Met deze uitdrukking kan R in de differentiaalvergelijking [3] vervangen worden:

$$T \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \frac{\xi - \varphi}{c} = S \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad [10]$$

Deze differentiaalvergelijking in cartesische coördinaten  $x$  en  $y$  kan worden herschreven naar axiaalsymmetrie met radiale coördinaat  $r$ :

$$T \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right] + \frac{\xi - \varphi}{c} = S \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad [11]$$

Ofwel:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\xi - \varphi}{Tc} = \frac{S}{T} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad [12]$$

En met verwaarlozing van de spanningsbergings in het watervoerend pakket:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\xi - \varphi}{Tc} = 0 \quad [13]$$

Deze differentiaalvergelijking bevat de tijd nu niet meer expliciet, maar doordat de grondwateraanvulling varieert in de tijd doet  $\xi$  dat ook en is ook  $\varphi$  tijdsafhankelijk. Er is voor deze schrijfwijze gekozen in navolging van Van den Akker (2013).

Met de transmissiviteit  $T$  als product van doorlatendheid  $k$  en verzadigde dikte  $H$  ( $T=kH$ ) komt vergelijking 13 overeen met de differentiaalvergelijking die van den Akker (2013) als uitgangspunt neemt (eerste vergelijking op bladzijde 16, net voor vergelijking (8) in van den Akker, 2013):

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{\varphi - h}{kHc} = 0 \quad [14]$$

Hierin is de grondwaterstand  $h$  een functie van de  $h = \xi(N, \varphi, c)$  (Verg. [8]). De afhankelijkheid van de grondwateraanvulling  $N$  laat van den Akker (2013, 2014) echter buiten beschouwing. Met de initiële grondwaterstand ( $h_0$  in van den Akker, 2013, 2014) kan enigszins rekening gehouden worden met de grondwateraanvulling. Het is één waarde in de tijd vanwege de stationaire benadering. Bovendien is het één waarde in de ruimte omdat deze initiële grondwaterstand horizontaal is. Het effect wordt dus verwaarloosd van de ruimtelijk variabele opbolling die op treedt door de grondwateraanvulling. Van den Akker spreekt van een “gebiedsgemiddelde grondwaterstand”, maar vanwege het niet-lineaire karakter geeft een gemiddelde waarde niet het gemiddelde effect, daarom is “gebiedsrepresentatieve grondwaterstand” een betere benaming. Hoe deze bepaald kan worden uit de ruimtelijke en temporele variatie is onduidelijk en zou ook afhankelijk kunnen zijn van de locatie waar men de gemiddelde verlaging wil berekenen.

De “gebiedsgemiddelde grondwaterstand” van Van den Akker is een abstractie, waarvan onduidelijk is hoe deze vastgesteld kan worden uit (gemeten) grondwaterstanden met variatie in tijd en ruimte. Vanwege de door Van den Akker benadrukte niet-lineariteit kan dit niet door middeling. Bovendien verhuut deze abstractie de invloed van andere factoren zoals de grondwateraanvulling. De invloed van grondwateraanvulling is ook in te zien door de reactie op neerslag te beschouwen bij de situatie met winning en zonder winning. Door de niet-lineaire afvoerrelatie zal neerslag in de situatie met winning resulteren in een relatief grotere toename van de grondwateraanvulling  $N$  en zonder winning in een relatief grotere toename van de afvoer  $U$ . De verhoging van de grondwaterstand door neerslag is dus afhankelijk van de winning. Omgekeerd is ook de verlaging door de onttrekking afhankelijk van de neerslag.

De differentiaalvergelijking is conform fysische wetmatigheden, maar bevat abstracties die ver verwijderd zijn van meetbare fysische grootheden.

#### *Verwaarlozen grondwateraanvulling in afleiding van den Akker (2013)*

Bij de voorgaande bespreking van de afleiding van de differentiaalvergelijking is al aangegeven dat andere invloeden dan de een permanente onttrekking verwaarloosd, dan wel zeer sterk geschematiseerd worden. Hieronder wordt nader ingegaan op het verwaarlozen van variaties in de grondwateraanvulling.

Van den Akker (2013) neemt als uitgangspunt (eerste vergelijking op bladzijde 16, net voor vergelijking (8) in van den Akker, 2013):

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} - \frac{\phi - h}{kHc} = 0 \quad [15]$$

Het stationair gebruik van deze differentiaal vergelijking (verwaarlozing van de variatie in de tijd van  $\phi$  en grondwaterstand  $h$  maakt dat een verlaging wordt berekend die niet noodzakelijk het gemiddelde is van de waarde die berekend zou worden als deze differentiaalvergelijking tijdsafhankelijk op gelost zou worden (met  $h = \xi(N, \phi, c)$  waarin de variatie van  $N$  zorgt voor de variatie in de tijd). Van den Akker (2016) illustreert dit zelf duidelijk in hoofdstuk 5 (pagina 8-10). Daarin worden drie berekeningen gepresenteerd met de initiële grondwaterstand op 0.6, 2.2 en 1.1 meter beneden maaiveld. De laatste waarde is het gemiddelde van de eerste twee, maar de berekende verlagingen zijn groter dan het gemiddelde van de verlagingen bij de eerste twee berekeningen.

De berekeningen met grondwaterstanden van 0.6 en 2.2 worden als berekeningen voor een GHG en een GLG situatie gepresenteerd bij een onttrekking van 6.5 miljoen kubieke meter per jaar. Het verschil tussen deze grondwaterstanden komt bij het genoemde beïnvloede gebied van 150 km<sup>2</sup> en een freatische bergingscoëfficiënt van 0.1 overeen een watervolume van 15 miljoen kubieke meter, wat het zeer onwaarschijnlijk maakt dat een stationaire GLG-situatie een zinvolle benadering geeft van verlagingen door deze winning.

#### *Verwaarlozen grondwateraanvulling in afleiding van den Akker (2014)*

Van den Akker (2014) geeft aanvullende formules waarin ook de invloed van de grondwateraanvulling verwaarloosd wordt. Hij koppelt de voorgaande beschouwing aan de afvoer  $U$  via zijn vergelijking 6:

$$\frac{dU}{dh} = \frac{dq}{dh} \quad [16]$$

Deze vergelijking gaat uit van de veronderstelling dat er altijd hetzelfde verschil is tussen  $q$  en  $U$ :

$$\frac{dU}{dh} = \frac{dq}{dh} \rightarrow U = q + C \quad [17]$$

Waarin:

$C$  = constante [L/T]

Met de continuïteit in het topsysteem  $U = q + N$  is dan in te zien dat de grondwateraanvulling  $N$  constant verondersteld wordt.

Dit kan ook op een andere manier aangetoond worden. Differentiëren van de continuïteitsvergelijking naar de tijd geeft:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dq}{dt} + \frac{dN}{dt} \quad [18]$$

Hierin is  $N$  onafhankelijk van  $h$ . Omwerken levert:

$$\frac{dU}{dh} \frac{dh}{dt} = \frac{dq}{dh} \frac{dh}{dt} + \frac{dN}{dt} \quad [19]$$

Omdat de afgeleide van de grondwaterstand naar de tijd ongelijk is aan nul geldt:

$$\frac{dU}{dh} = \frac{dq}{dh} + \frac{dN}{dt} \frac{dt}{dh} \quad [20]$$

De laatste term is ongelijk aan nul omdat de grondwateraanvulling in de tijd varieert en dus ook de tijds-afgeleide van de grondwateraanvulling nul is. Ofwel bij een variabele grondwateraanvulling is de koppeling van de kwel aan de afvoer in Van den Akker (2014) is onjuist:

$$\frac{dU}{dh} \neq \frac{dq}{dh} \quad [21]$$

En de grondwateraanvulling heeft invloed op de relatie tussen afvoer, kwel en grondwaterstand en deze relatie varieert in de tijd door het niet-lineaire gedrag van het systeem veroorzaakt door de niet-lineaire afvoerrelatie. Een stationaire benadering verwaarloost deze invloeden. Nu is het logisch dat een constante neerslag gehanteerd wordt in een stationaire situatie, maar door de niet-lineariteit is het onduidelijk welke waarde gehanteerd moet worden. Zo zal de jaargemiddelde grondwaterstand niet de jaargemiddelde verlaging opleveren.

#### *Conclusie over de differentiaal vergelijking*

Deze vergelijking en de verdere uitwerking zijn dus een op superpositie gebaseerde stationaire benadering waarbij andere invloeden dan een permanente onttrekking allemaal via een uniforme initiële gebiedsrepresentatieve grondwaterstand verdisconteerd. De keuze van deze initiële grondwaterstand bevat de doorwerking van de variaties in de tijd, waarbij het gebruik van een gemiddelde niet leidt tot de berekening van de gemiddelde verlaging.



Bovendien wordt de ruimtelijke variatie verwaarloosd, waardoor het onduidelijk is hoe representatief de berekende waarde ruimtelijk is.

### Gebruik van de differentiaalvergelijking

Het gebruik van de differentiaalvergelijking in de praktijk wordt bemoeilijkt door het feit dat deze geen analytische oplossing heeft, dat de parameters ervan geen gangbare fysische grootheden zijn en dat de  $U(h)$ -relatie is geformuleerd op een wijze die niet duidelijk maakt hoe deze samenhangt met de wel gangbare grootheden zoals de drainageweerstand.

Analytische oplossingen van een grondwaterstromingsdifferentiaalvergelijking hebben als voordeel ten opzichte van numerieke modellen, dat de relatie tussen de parameters en de uitkomsten expliciet gemaakt wordt. Zo is direct te zien hoe de uitkomsten veranderen als een parameter een andere waarde heeft en hoe gevoelig de uitkomsten zijn voor de bandbreedte waarmee een parameter bekend is. In dit opzicht is levert de aanpak van Van den Akker geen voordelen op ten opzichte van een modern numeriek model met een niet lineair-topsysteem omdat de differentiaalvergelijking numeriek opgelost moet worden (wat voor de meeste geohydrologen bovendien geen routineklus is). De aanpak heeft wel meerwaarde ten opzichte van oude numerieke lineaire modellen zoals de FLOP-programma's (van de Akker, 1975).

De bovenrandvoorwaarde van een verzadigd-grondwatermodel, wordt vaak topsysteem genoemd. Bij het parametriseren van het topsysteem op regionale schaal wordt in Nederland over het algemeen geformuleerd in termen van drainage- en aanverwante weerstanden uit formules van Hooghout, Ernst of Bruggeman, eventueel aangevuld met de deklaagweerstand (zie bijvoorbeeld Van Drecht, 1983 en de Lange, 1997). De bovenrandvoorwaarde of topsysteemrelatie wordt dan uitgedrukt als een flux naar het watervoerend pakket die een functie van de stijghoogte is.

Van den Akker (2015, 2016) suggereert dat het gebruik van de differentiaalvergelijking tot een veel groter invloedsgebied leidt dan de onderzoeken aangehaald door Maas (2012). Dat is te wijten aan verschil in definitie. Bij analytische formules zoals die van de Glee is reikt de invloed van een winning oneindig ver, al wordt de invloed op oneindige afstand wel oneindig klein. In de praktijk is echter van heel kleine veranderingen geen effect vast te stellen. Bij Terwisscha is afgesproken om naar schade te kijken in het gebied met meer dan 5 cm verlaging. Dat daarbuiten verlaging van enkele centimeters op kan treden zal voor iedereen duidelijk zijn, terwijl het voor hydrologen geen verrassing mag zijn dat er een aanzienlijk deel van het onttrekkingsvolume van buiten dit gebied toestroomt.

### Validiteit parameterwaarden

Fysische interpretatie van de parameters in de  $U(h)$ -relatie is gepostuleerd, maar niet gevalideerd voor een werkelijke situatie en helemaal niet voor Terwisscha. Daarbij representeert de waarde van initiële grondwaterstand  $h_0$  op impliciete wijze de stationaire reactie van de grondwaterstand op overige invloeden. Door het ontbreken van een expliciete relatie met bijvoorbeeld de opbolling door grondwateraanvulling uit neerslag en verdamping is onduidelijk hoe deze gekozen moet worden. Ook is niet bepaald in hoeverre een logaritmische verloop de afvoer goed beschrijft.

De weerstand van de deklaag ( $c$ -waarde) die bij de differentiaalvergelijking gebruikt wordt heeft niet noodzakelijk de waarde die met een andere schematisatie (zonder de  $U(h)$ -relatie) is afgeleid is uit waarnemingen. Het is algemeen bekend dat modelparameters afhankelijk zijn van de modelschematisatie (zie bijvoorbeeld Kruseman & de Ridder, 1994).

Van den Akker (2013, 2014) heeft de validiteit van zijn parameters voor Terwisscha niet aangetoond, met name de waarde van de constante initiële stijghoogte.

### *Betrouwbaarheid*

Het is vreemd om enerzijds te hameren op niet-lineariteit en het belang van volgtijdelijkheid en anderzijds superpositie gebruiken en een effect te bepalen zonder andere invloeden in de beschouwing te betrekken. Ook valt het pleidooi voor een wetenschappelijke discussie niet te rijmen met het poneren van een aanpak zonder deze te valideren en zonder de betrouwbaarheid te adresseren (zie bijvoorbeeld Hill & Tiedeman, 2007).

In tweede instantie is wel een bandbreedte aangegeven (van den Akker, 2016). Hierin staat dat met de differentiaalvergelijking een orde van grootte van de verlaging door een winning bepaald kan worden. Orde van grootte betekent dat de verlaging binnen een factor 10 bepaald kan worden. Dit is zo'n ruime bandbreedte dat de eerdere onderzoeken hierbinnen vallen: er is dus geen tegenspraak!

### *Verhouding tot andere methoden*

Van den Akker (2016) zet zich af tegen een zogenaamde KWR-methode die ook door het ACSG gehanteerd zou worden. Het gaat hierbij niet om een rekenmethode maar om het erkennen van het feit dat grondwaterstanden ook kunnen dalen door andere oorzaken dan permanente onttrekkingen (zie bijvoorbeeld het conceptrapport van de werkgroep achtergrondverlaging op de website van de Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV) en de referenties daarin). Overige oorzaken worden vaak achtergrondverlaging genoemd en de KWR-methode bestaat daaruit dat een in een gebied opgetreden achtergrond verlaging van de totale geconstateerde verlaging wordt afgetrokken om te komen tot de verlaging van een permanente onttrekking. Maas (2012) laat zien hoe bestaande onderzoeken voor Terwisscha op één lijn gebracht kunnen worden door rekening te houden met opgetreden achtergrondverlaging. De leden van de NHV hebben dit bekroont met de prijs voor het beste Stromingen-artikel. Van den Akker past deze methode zelf ook toegepast (van den Akker, 2015) en tijdens zijn lidmaatschap van de NHV-werkgroep achtergrondverlaging heeft hij ook kennis genomen van de verlagingen door andere invloeden zoals verandering van landgebruik en verbetering van ontwatering en afwatering.

### *Afsluiting*

De differentiaalvergelijking van Van den Akker (2013) geeft een denkmodel voor de stationaire invloed van een winning, dat niet-lineariteit toevoegt ten opzichte van de formules van Dupuit en de Glee en daarmee een verfijning mogelijk maakt ten opzichte van deze formules waarmee een onder- en bovengrens voor de invloed bepaald kunnen worden. De differentiaalvergelijking verwaarloost de invloed van de variatie in de ruimte en de tijd van andere geohydrologische factoren, zoals de grondwateraanvulling. Er bestaat geen inzicht in de nauwkeurigheid waarmee de differentiaalvergelijking de verlaging van een permanente onttrekking kan beschrijven. De waarde voor praktische toepassing is dan ook beperkt: de bandbreedte van die Van den Akker (2016) aangeeft omvat voor de winning Terwisscha alle resultaten van eerdere onderzoeken die door Maas (2012) aangehaald worden. Het werk van Van den Akker spreekt de resultaten van Maas dus niet tegen. Ook erkent Van den Akker het bestaan van achtergrondverlaging, die niet toegerekend mag worden aan permanente onttrekkingen. Dit is de kern van de "KWR-methode".

## Referenties

- C. van den Akker (1975) Toelichting bij het rekenprogramma FLOP-1, RID-mededeling '75-3, Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening, NL.
- C. van den Akker (2013) Tussen Dupuit en De Glee – het ontstaan van toegevoegde stijghoogte verlaging, *Stromingen*, jaargang 19, nummer 2, pagina 5-23.
- C. van den Akker (2014) Een fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor, *Stromingen*, jaargang 20, nummer 1, pagina 91-99.
- C. van den Akker (2015) Is de balans zoek?, *Stromingen*, jaargang 22, nummer 2.
- C. van den Akker (2016) , Analyse van de stationaire grondwaterstroming naar permanente putten in vrij afwaterende gebieden, LTO Nederland, Den Haag, December 2016.
- G. van Drecht (1983) Berekening van de stationaire grondwaterstroming naar sloten, RID-mededeling '83-3, Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening, NL.
- Charles R. Fitts (2002) *Groundwater Science*, Academic Press, San Diego CA, VS.
- Mary C. Hill & Claire R. Tiedeman (2007), *Effective Groundwater Model Calibration, With Analysis of Sensitivities, Predictions and Uncertainty*, Wiley, Hoboken NJ, USA.
- G.P. Kruseman & N.A. de Ridder (1994) *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, second edition (completely revised), International institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, NL.
- Wim de Lange (1997) Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of drainageweerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel, *Stromingen*, jaargang 3, nummer 2, pagina 17-28.
- Kees Maas (2012) Valkuilen in de tijdreeksanalyse: Het geval Terwisscha, *Stromingen*, jaargang 18, nummer 2, pagina 43-75.