

---

# De voedings-voetafdruk van ons drinkwater

Een alternatieve beschouwing over de effecten van permanente grondwateronttrekkingen op verdamping en afvoer

Jan van Bakel<sup>1</sup>

---

## Inleiding

In mijn werk als agrohydroloog wordt me wel eens gevraagd de omvang van de landbouwschade door een grondwateronttrekking in te schatten. Mijn vuistregel luidt: "De maximale omvang van de verdampingsreductie is de helft (daling van de grondwaterstand in de zomer levert water op door vermindering van de freatische berging maar grofweg de helft komt uit vermindering van de verdamping) van de helft (onttrekking zomerhalfjaar) van de jaarlijkse winning, en daar weer 60% van, zijnde het aandeel landbouw in de verdampingsreductie.' Dat komt uit op 15%. Een dergelijke schatting leidt in de regel tot veel meer schade dan daadwerkelijk wordt vergoed en de vraag is hoe dat komt. Dit vormde het startpunt van een benadering die in dit artikel wordt beschreven met als doel een alternatieve schatting te kunnen geven van de landbouwschade, te meer daar het antwoord niet zonder praktische betekenis is. En passant is ook de voeding door afvoervermindering meegenomen. De benadering is aangeduid als voedings-voetafdruk, maar is als zodanig niet nieuw. Bij het schrijven bleek namelijk dat Ernst reeds in 1967 hier al het een en ander over heeft gepubliceerd.

De omvang van de permanente grondwateronttrekking in Nederland is ca. 950 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Hiervan is ca. 800 miljoen m<sup>3</sup> door waterbedrijven. Deze onttrekking heeft effecten op de watervoorziening van de landbouw en de natuur en op afvoeren. Voor alle grotere winningen is er onderzoek uitgevoerd naar deze effecten en zijn regelingen getroffen in het geval er schade is. De Commissie van Deskundigen Grondwaterwet (CDG, thans ACSG) is hiervoor de wettelijke instantie.

De methodiek om schade aan de landbouw te bepalen gaat al heel wat jaren mee en door allerlei ontwikkelingen is er wellicht behoefte aan actualisatie. De vraag of dit zal leiden tot een significant andere hoogte van de uit te keren schades is legitiem. In dit artikel zal een alternatieve maar globale benadering worden gepresenteerd om te onderzoeken waar ons drinkwater vandaan komt. Deze benadering noem ik de voedings-voetafdruk, naar analogie van de watervoetafdruk. In essentie is het een methode met als basis een analyse van de waterbalans, zoals hierna zal blijken.

---

<sup>1</sup> De Bakelse Stroom ([www.debakelsestroom.nl](http://www.debakelsestroom.nl))

Maar allereerst zal de gangbare manier van bepaling van effecten van permanente grondwaterwinningen kort worden beschreven.

### Vaststelling effecten van grondwaterwinningen

De gangbare manier om de effecten van permanente (grotere) grondwateronttrekkingen op de landbouw en natuur vast te stellen is ongeveer als volgt:

1. Voor het verlagingsgebied wordt voor het deel dat in gebruik is als landbouw door middel van bodemkundig-hydrologisch veldonderzoek per schadevlak (kleinste bodemkundig-hydrologische kaarteenheid waarvoor de schade wordt berekend) het grondwaterstandsregime afgeleid in de situatie zonder winning, in termen van de grondwaterstandskarakteristieken GHG en GLG (Gemiddeld Hoogste en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand).
2. Met een stationair of niet-stationair model wordt de grondwaterstandsverlaging berekend en daarmee ook de veranderde GHG en GLG.
3. Voor elk schadevlak wordt voor zowel de uitgangssituatie als de situatie met winning de TCGB-tabel toegepast (Bouwman, 1990). Deze tabel is een verbijzondering van de HELP-tabel. Gegeven de bodemfysische eenheid en de GHG resp. GLG met en zonder winning, wordt de veeljarig gemiddelde nat- en droogteschade voor grasland vastgesteld en, indien relevant, de nat- en droogteschade voor afzonderlijke jaren.
4. Omdat de natschade meestal tegen relatief geringe kosten kan worden verminderd wordt de natschade veelal maar voor een beperkt deel meegenomen.
5. Per bedrijf met percelen binnen het schadegebied is de ligging van de percelen bekend en daarmee ook de arealen van de relevante schadevlakken.
6. Vermenigvuldiging van areaal maal procentuele schade levert de schade per bedrijf in ha.%.
7. Door saldering van de nat- en droogteschades is per bedrijf de fysieke opbrengstverandering te bepalen. Indien er een opbrengstreductie is wordt er schade uitgekeerd, door vermenigvuldiging van per jaar vast te stellen bedrag per ha.%.
8. Voor de terrestrische natuur worden veelal naast de verandering van de Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (GVG) ook de verandering in kwel bepaald. Per natuurdoeltype/beheertype kan daarmee bijvoorbeeld de verandering van de doelrealisatie worden vastgesteld.
9. Voor de aquatische natuur is er geen duidelijk uitgewerkte handelwijze. In principe is de doelrealisatie van een aantal aquatische natuurdoeltypen afhankelijk van de afvoerdynamiek (waaronder de kans op afvoerloos worden c.q. droog te vallen). Zoals we later zullen zien is het in beeld brengen van effecten van grondwaterwinningen op het afvoerregiem zeer gewenst.

Deze methode is en wordt veelvuldig toegepast en is daarmee proven technology. Echter de modelmatige onderbouwing van de droogteschade in de landbouw is conceptueel gezien verouderd, vergelijkbaar met de berekeningen die ten grondslag hebben gelegen aan de droogteschade in de HELP-tabel (zie voor alle beperkingen van de HELP-tabel: Van Bakel en Van den Eertweg, 2011).

Bovendien is de TCGB-tabel berekend met het klimaat van de jaren 1951-1980 en dus mogelijk niet meer actueel. Ook de natschadebepaling is dringend aan herziening toe.

Ook is te voorzien dat de methode 'Waternood-proof' moet worden. Dit houdt in dat allereerst in de situatie zonder winning de GGOR-situatie (Gewenst Grond- en OppervlaktewaterRegiem; een volgens de Waternoodfilosofie ontworpen waterhuishoudkundige inrichting en beheer) wordt geconcipeerd en die wordt vergeleken met de GGOR-situatie met winning. GGOR wil zeggen dat alle mogelijke, maar wel kosteneffectieve maatregelen worden genomen om de optimale agro- en ecohydrologische situatie te bereiken. Het verschil tussen beide GGOR-situaties resulteert in landbouwschade resp. verandering in doelrealisatie. Daarvan moeten worden afgetrokken de besparingen op ont- en afwatering in de GGOR-met-winning-situatie, en worden opgeteld de extra kosten van beregening en wateraanvoer, voor zover deze mitigerende maatregelen dus kosteneffectief zijn.

Beide GGOR-situaties zijn dus hypothetische situaties die alleen met een of ander model in beeld kunnen worden gebracht. Te verwachten is dat daarvoor een niet-stationaire, ruimtelijk gedetailleerde, integrale, hydrologische modellering nodig zal zijn. Voor een eerste schatting is een eenvoudiger werkwijze mogelijk. In het hierna volgende zal een dergelijke methodiek, genaamde de waterbalansbenadering, worden beschreven.

## De waterbalansbenadering

### De stationaire waterbalansbenadering

Water dat aan het grondwater wordt onttrokken moet ergens vandaan komen. Bij een min of meer constante onttrekking gedurende vele jaren ontstaat er een dynamisch evenwicht waarbij de grondwateronttrekkingshoeveelheden komen uit een vermindering van de afvoer en/of vermindering van de verdamping. De grondwateronttrekking wordt als het ware gevoed door afvoervermindering en vermindering van de verdamping. In welke verhouding hangt af van hoe een grondwaterstandsverlaging effect heeft op de afvoer resp. op de verdamping.

Het effect op de afvoer kan worden berekend door de grondwaterstandsverlaging te delen door de drainageweerstand. Een typische waarde voor de drainageweerstand kan worden afgeleid uit het verschil tussen GHG en GLG. Voor de meeste grondwatertrappen is dat rond 0,90 m (Van Bakel e.a., 2005). Bij een GLG-situatie hoort een capillaire opstijging resp. aanvoer van 0,0 à 1,0 mm/d en bij het GHG-niveau een percolatie resp. afvoer van 2 à 3 mm/d. Het verschil stellen we op 3 mm/d.

Volgens de formule van Ernst (1962):

$$\Delta q = \Delta h / c_d \rightarrow c_d = \Delta h / \Delta q \quad [1]$$

waarin  $\Delta q$  is verandering in afvoer,  $\Delta h$  is verschil in grondwaterstand in beide afvoersituaties en  $c_d$  is drainageweerstand,

levert invullen van  $\Delta q = 0,003$  m en  $\Delta h = 0,90$  m een drainageweerstand van 300 d.

Voor de verdampingsreductie kan een soortgelijke redenering worden opgezet. Voor grasland op zandgronden is de droogteschadetoename tussen optimale Gt (meestal gt IV) en hangwaterprofiel zo'n 20% over een traject van ca. 100 cm. Deze waarde

is afgeleid uit de HELP-tabel maar volgt ook uit de bekende 3 opbrengstontwateringsdieptecurves van het COLN-onderzoek (Visser, 1958). 20% verdampingsreductie is 0,2 maal de potentiële gewasverdamping gedurende het groeiseizoen (ca. 400 mm), is 80 mm per jaar is 0,25 mm/d.

Invullen van  $\Delta q = 0,0025$  m/d en  $\Delta h = 1,0$  m levert een gewasverdampingsreductieweerstand van **4000 d**.

Dus de verhouding tussen de weerstanden is als 1:13. Echter we moeten nog rekening houden met het volgende:

- De voeding uit afvoer wordt begrensd door het neerslagoverschot van 800 minus 500 is 300 mm/j (in een geval zonder aanvoermogelijkheden);
- De voeding uit verdampingsreductie wordt begrensd door de maximale toename van de verdampingsreductie, te stellen op 40 mm/j (in de situatie zonder winning is er ook al een verdampingsreductie van 40 mm/j).

Met een spreadsheet is de verlaging van de freatische grondwaterstand bepaald. We nemen de situatie dat 10.000m<sup>3</sup>/d wordt onttrokken uit een watervoerend pakket dat aan de bovenkant wordt begrensd door een weerstandbiedende laag met daarboven een dun freatisch pakket. De laterale stroming in het freatisch pakket wordt verwaarloosd. Bij onttrekking treedt een stijghoogteverlaging op in het watervoerende pakket. Deze verlaging genereert een neerwaartse flux door de weerstandbiedende laag die gelijk is aan de voeding uit vermindering van de afvoer en de voeding uit verminderde verdamping, waarbij beide voedingen zijn begrensd zoals hierboven beschreven.

Door een ruim begrensd verlaginggebied te nemen met een doorsnede van 50 km en het gebied op te knippen in schillen van 100 m kan vanaf de rand de toename van het debiet worden berekend en wordt telkens de formule van Thiem voor radiale stroming naar een put toegepast om de verlaging van de stijghoogte in het watervoerend pakket over elke schil uit te rekenen:

$$Q(r) = 2\pi kD(\Delta h)/\ln(r_2/r_1) \quad [2]$$

Met  $Q(r)$  is doorstroomd debiet van de betreffende schil (m<sup>3</sup>/d),  $kD$  is doorlaatvermogen (m<sup>2</sup>/d),  $\Delta h$  is verlaging van de stijghoogte over de schil (m) en  $r_2$  en  $r_1$  is de afstand van de buitenkant resp. binnenkant van de schil tot aan de put (m).

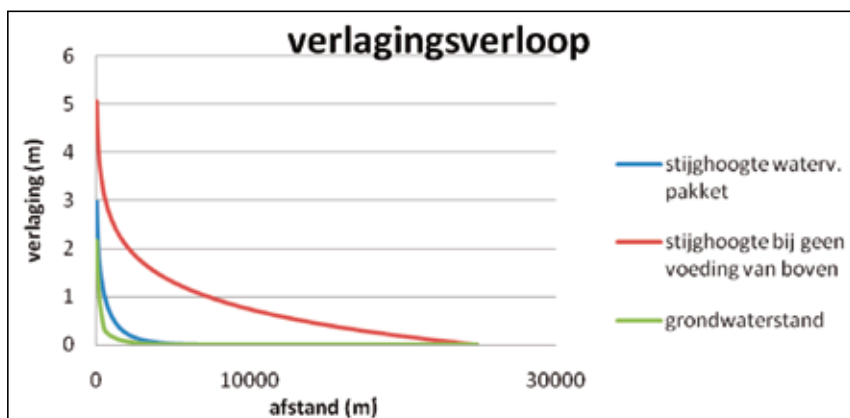
Een verlaging leidt weer tot voeding van boven en zo neemt het doorstroomd debiet elke 100 m discreet toe, gaande van de rand van het gebied tot de put. Om de berekening op gang te brengen moet een aanvangsdebiet over de rand van veelal minder dan 1 m<sup>3</sup>/d worden ingevoerd.

Het spreadsheet berekent ook de volgende fracties:

- Fractie voeding uit verdampingsreductie;
- Fractie diffuus: Dat deel van het onttrokken debiet dat afkomstig is van het areaal waar de grondwaterstandsvaling minder is dan 0,05 m; dit is de algemeen gebruikelijke 'schadegrens' voor de landbouw. Voor natuur is er overigens minder consensus over deze grens;

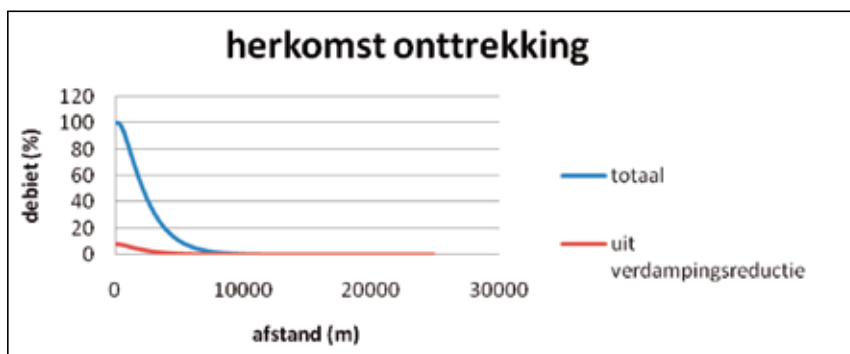
- Fractie vergoedbaar: Het product van beide voorgaande fracties. Deze fractie is van belang als we de voor vergoeding in aanmerking schade in de landbouw willen schatten.

In onderstaande afbeelding wordt, voor de situatie met een  $KD$ -waarde van  $2000 \text{ m}^2/\text{d}$  en een  $c$ -waarde van  $800 \text{ d}$ , de verlaging van de stijghoogte in het watervoerend pakket en die van het freatisch pakket gepresenteerd. Ter vergelijking is ook de verlaging zonder voeding (waarbij het debiet over de rand gelijk is aan het onttrokken debiet) weergegeven.



**Afbeelding 1:** Het verloop van de verlaging van de stijghoogte in het watervoerend pakket en van de grondwaterstand bij voeding uit verdampingsreductie en afvoervermindering. Ter vergelijking is ook de lijn ingetekend als er geen voeding van boven is.

In afbeelding 2 wordt de grootte van het doorstroomde debiet weergegeven, uitgedrukt als percentage van het totale onttrokken debiet.



**Afbeelding 2:** Het verloop van het doorstroomde debiet en van de voeding uit verdampingsreductie.

Voor het getoonde geval is bij de put 7% afkomstig van de reductie van de verdamping. Dit is duidelijk lager dan het door Ernst (1967) genoemde percentage van 10 à 15%.

Merk op dat winningen de voorkeur hebben (hadden) voor gebieden met 'van nature' diepe grondwaterstanden, maar juist deze gebieden zijn slechte 'voeders'. Zowel voeding

uit vermindering van de afvoer als uit vermindering van de verdamping treedt niet of nauwelijks op en die gebieden worden dus in bovenstaande redenering 'overgeslagen'.

### **De quasi-stationaire waterbalansbenadering**

Een stationaire methode heeft beperkingen. Voeding uit afvoervermindering en voeding uit verdampingsreductie treden meestal niet gelijktijdig op. Door een veelal grotere drainageweerstand en het onder de drainagebasis zakken van de grondwaterstand (in feite drainageweerstand oneindig) is de grondwaterstandsverlaging in de zomer groter dan in de winter, maar deze verlaging is ook een vorm van voeding.

### **Winterperiode**

In de winterperiode voorafgaand aan de hierna te analyseren zomerperiode wordt door de onttrekking de stijghoogtes en grondwaterstanden verlaagd. De voeding komt uit afvoervermindering en grondwaterstands daling in de verhouding die afhangt van de drainageweerstand en de weerstand uit bergingsverandering. We nemen aan dat het afvoerseizoen 7 maanden duurt en gedurende die periode 450 miljoen m<sup>3</sup> wordt onttrokken. De drainageweerstand is 7/12 lager dan in het geval van de stationaire beschouwing omdat de afvoer over een kortere periode plaats vindt, en is gesteld op 175 d.

Voeding uit freatische berging heeft ook een soort weerstand. Als na 215 dagen de grondwaterstand 1,0 m is gedaald komt er 150 mm water vrij in die 215 dagen (freatische bergingscoëfficiënt in de zomer gesteld op 0,15). Per dag is dat  $0,15/215$  is 0,0007 m/d.

Merk op dat niet mag worden uitgegaan van de freatische bergingscoëfficiënt behorend bij een naar boven gerichte stroming in de onverzadigde zone, eerder nog van een neerwaarts gerichte stroming omdat er een verdampingsreductie optreedt. We moeten immers in superpositie blijven denken.

De 'weerstand' die hoort bij deze voeding uit berging is (vgl [1]):

$1,0/0,0007$  is afgerond 1400 d.

De voeding is niet begrensd omdat is verondersteld dat de daling van de grondwaterstand niet begrensd is.

### **Zomerperiode**

Voor de bepaling van de effecten op de verdamping is het beter alleen de zomerperiode te beschouwen. Dé manier is het toepassen van een niet-stationair hydrologisch model, omdat daarmee ook dynamisch aan afvoer en actuele verdamping kan worden gerekend. Hier zal een quasi-stationaire methode worden toegepast: De verlaging aan het eind van de zomer past bij een stromingssituatie waarbij de som van bergingsverandering, verdampingsreductie en afvoervermindering gelijk is aan de onttrokken hoeveelheid grondwater.

De veronderstelling is dat in de maanden mei t/m september er geen afvoer is. Ondiepe sloten houden meestal eerder op met afvoeren en alleen sommige beken voeren dan nog af. Dus gemiddeld genomen is het een redelijke veronderstelling, gegeven

het reeds geschetste toepassingsdomein. De grondwateronttrekking komt hetzij uit verdampingsreductie hetzij uit verandering in freatische berging. De voeding uit verdampingsreductie kan alleen komen van niet-hangwaterprofielen in de situatie zonder winning.

Stel dat 2/3 deel van het areaal in de GGOR-zonder-winning-situatie geen hangwaterprofiel is heeft en zonder winning in de 5 beschouwde maanden 0,6 m uitzakt. Bij een verlaging van 10 cm van de GLG wordt, voor een veel voorkomende bodemeenheid in het deel van Nederland waar grondwater wordt onttrokken (podzolgrond; Hn21), 2% extra opbrengstreductie berekend (dus extra ten opzichte van een GLG die hoort bij 60 cm uitzakking)<sup>2</sup>. Dit komt overeen met 8 mm gedurende 150 dagen, is afgerond 0,0005 m/d.

1/3 van het areaal in de situatie zonder winning is dus hangwaterprofiel. Daar is dus geen voeding uit verdampingsreductie mogelijk en wordt de flux uit voeding, over het gehele areaal gerekend, geen 0,0005 m/d maar 0,00035 m/d. De daarbij behorende verdampingsreductieweerstand is:

$0,1/0,00035$  is afgerond 3000 d.

Ernst (1967) kwam voor Zuid-Oost Nederland uit op 1600 d, maar dit verschil is grotendeels te verklaren doordat hij alleen het gehele jaar beschouwde.

De voeding uit verdampingsreductie is wel begrensd. Immers profielen die in de situatie zonder winning geen hangwaterprofiel zijn kunnen dat na winning wel worden en dan kan er geen voeding meer optreden bij verdergaande verlaging. De maximale **extra** voeding van een profiel dat over een zo lang mogelijk grondwaterstandstraject nog geen hangwaterprofiel wordt is geschat op ca. 10% van 350 mm is 35 mm gedurende de 150 dagen. Stel dat dit op 1/3 van het areaal het geval is. 1/3 van het areaal is hangwaterprofiel en 1/3 van het areaal is geen hangwaterprofiel maar komt eerder in een situatie terecht van hangwaterprofiel. Een schatting is dat de voeding gerekend over het gehele areaal begrensd is op 20 mm per 150 dagen.

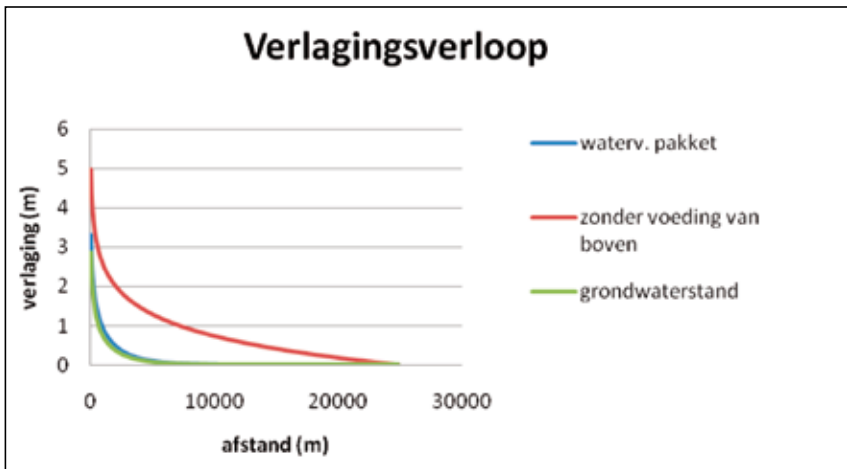
Merk op dat de elastische berging is verwaarloosd. De elastische berging is in de orde van  $0,0001 \text{ m}^{-1}$ . Als we aannemen dat de stijghoogte in het watervoerend pakket in de zomer 1 m daalt en het pakket 100 m dik is komt er 10 mm vrij. Dezelfde daling van de grondwaterstand levert 150 mm.

Zonder begrenzing is in de zomer ca. 25% afkomstig uit verdampingsreductie en 75% uit bergingsverandering door grondwaterstands daling. Echter doordat gestart wordt met een verlaging aan het begin van de rekenperiode zal er minder voeding uit berging worden berekend en dus meer uit verdampingsreductie. Daarom is de berekende verlaging aan het eind van de 7-maandelijke winterperiode als beginverlaging genomen.

---

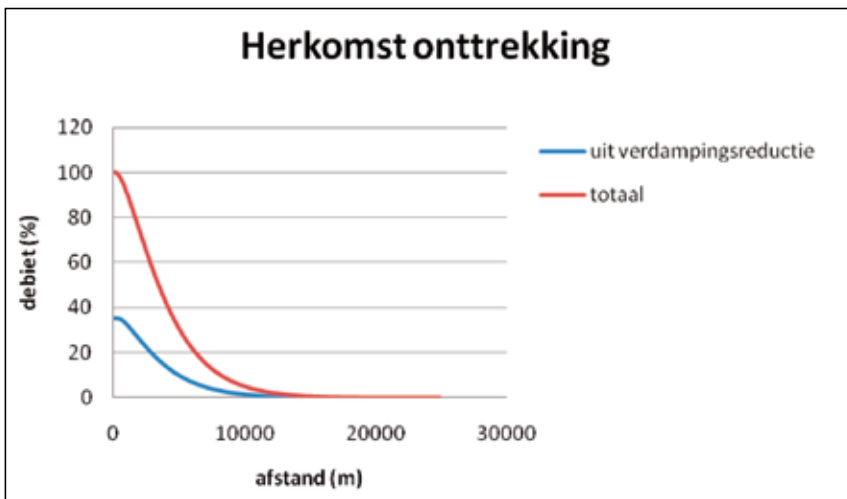
<sup>2</sup> [www.hekp200x.alterra.nl](http://www.hekp200x.alterra.nl)

Met hetzelfde spreadsheet als beschreven in de vorige paragraaf is het verlagingverloop aan het einde van de zomer berekend. Zie onderstaande afbeelding.



**Afbeelding 3:** Het verloop van de verlaging van de stijghoogte in het watervoerend pakket en van de grondwaterstand bij voeding uit verdampingsreductie en grondwaterstands daling. Ter vergelijking is ook de lijn ingetekend als er geen voeding van boven is.

Ook is wederom het debiet te berekenen dat op elke afstand van de put naar de put toestroomt en waar dat water vandaan komt. Zie afbeelding 4.



**Afbeelding 4:** Het verloop van het doorstroomde debiet en van de voeding uit verdampingsreductie.

Het voedingsverloop laat zien dat in deze situatie ( $kD = 2000 \text{ m}^2/\text{d}$  en  $c = 800 \text{ d}$ ) 35% afkomstig is van verdampingsreductie. Betrokken op het jaarlijkse debiet is dat ca. 15% en aanzienlijk hoger dan volgend uit de stationaire benadering (was 7%), maar wel beter in overeenstemming met het door Ernst (1967) berekende percentage.



Het aandeel diffuus (dus afkomstig van areaal met een grondwaterstandsverlaging van minder dan 0,05 m) is ca. 0,24.

Daarmee komt de fractie van mogelijk voor schadevergoeding in aanmerking komende verdampingsreductie (de fractie vergoedbaar) op 0,26. In onderstaande tabel staan de kengetallen voor deze situatie en enkele andere combinaties van kD en c.

Nr	Geohydrologische situatie		Fractie verdampingsreductie	Fractie diffuus	Fractie vergoedbaar
	kD	c			
1	2000	200	0,29	0,22	0,23
2	2000	400	0,32	0,24	0,25
3	2000	800	0,35	0,24	0,26
4	2000	1600	0,38	0,25	0,29
5	2000	3200	0,41	0,26	0,30

**Tabel:** De afhankelijkheid van de onderscheiden fracties van de geohydrologische situatie

Hieruit is af te leiden dat de fractie verdampingsreductie redelijk gevoelig is voor de geohydrologische setting. Bij een lage c-waarde treedt de begrenzing van de verdampingsreductie over een deel van de onttrekking in werking omdat de grondwaterstandsverlaging minder wordt gespreid. De fracties diffuus en vergoedbaar zijn minder gevoelig.

### Omvang landbouwschade

We kunnen nu een schatting maken van de omvang van de landbouwschade. Stel we nemen een situatie met een kD-waarde van 2000 m<sup>2</sup>/d en een c-waarde van 800 d (nr 3 uit de tabel) als representatief. De fractie vergoedbaar is afgerond 0,26.

De grondwateronttrekking in 5 maanden is 350 miljoen m<sup>3</sup> (zomeronttrekking wat hoger). Daarvan is weer 60% afkomstig van landbouwpercelen. Dus 350 miljoen maal 0,26 maal 0,6 is naar beneden afgerond 50 miljoen m<sup>3</sup>. De landbouwkundige opbrengst van 1 m<sup>3</sup> voor grasland is ca. € 0,50 (400 mm is 4000 m<sup>3</sup>/ha die € 2000/ha opbrengt). Daarmee komt de geldelijke schade in de landbouw op ca. € 25 miljoen/jaar.

Betrokken op de jaaronttrekking is de voeding uit verdampingsreductie volgens deze benadering  $0,35 \cdot (350/800)$  is afgerond 15% en daarmee in goede overeenstemming met de door Ernst (1967) gevonden waarde voor zandgronden.

Bovenstaande benadering gaat voorbij aan het feit dat de grondwaterstand aan het begin van de winter ook al is verlaagd en dus de verlaging van de grondwaterstand op 1 mei dus lager is dan waar mee is gerekend als startpunt voor de zomersituatie. Dat is voor 1 situatie nagegaan en levert inderdaad een iets hogere fractie verdampingsreductie. Gelet op het exploratieve karakter van deze analyse is dit effect verwaarloosd.

## GGOR-correcties en klimaatverandering

In de GGOR-met-winningsituatie kan worden bespaard op drainage en kan de droogteschade in sommige gevallen kosteneffectief worden verminderd door (meer) water aan te voeren, over te gaan op beregening of door meer te beregenen (als er al een beregeningsinstallatie aanwezig is).

### **Drainage**

Geredeneerd vanuit de GGOR-filosofie: In de situatie zonder winning is 30% drainagebehoefstig en die is daadwerkelijk gedraineerd. Bij meer dan 30 cm verlaging door de winning aan het einde van de winter is geen enkel perceel nog drainagebehoefstig. In ons voorbeeld: 50 ha. Tussen 20 en 30 cm verlaging op 100 ha 20% niet meer drainagebehoefstig en tussen 10 en 20 cm op 550 ha 10% niet meer drainagebehoefstig. Dus in totaal afgerond 100 ha minder gedraineerd. Dit levert per jaar 100 euro minder kosten per ha. Dus in totaal 10.000 euro voor 3,65 miljoen onttrekking per jaar. Voor de totale onttrekking van 800 miljoen m<sup>3</sup> is dat ruim 2 miljoen euro per jaar.

### **Wateraanvoer**

Bij sommige winningslocaties wordt wateraanvoer gerealiseerd om de effecten van de winning te mitigeren. Echter de kosten hiervan zijn veelal niet veel lager dan de opbrengsten en daarom wordt deze correctie hier buiten beschouwing gelaten.

### **Beregening**

Indien al wordt beregend is het voordeliger meer te gaan beregenen. We gaan uit dat 20% van het areaal waar verdampingsreductie door grondwateronttrekking optreedt als er niet wordt beregend, beregenbaar is. Dit is een ruime schatting aangezien beregening de voorkeur heeft op gronden met een diepe grondwaterstand plaats te vinden. Zoals reeds eerder beschreven komt 30 miljoen m<sup>3</sup> per jaar van vergoedbare landbouwpercelen. Daarvan is dus 6 miljoen dus afkomstig van percelen die beregenbaar zijn in de situatie zonder winning. Om die te compenseren moet er 10 miljoen extra worden beregend (60% beregeningsefficiëntie). De variabele kosten van beregening bedragen volgens de handleiding AGRICOM<sup>3</sup> ca. 0,10 per m<sup>3</sup>, dus afgerond 1,0 miljoen euro terwijl de droogteschade 3 miljoen is. Dat betekent een correctie op de berekende droogteschade van 2 miljoen euro.

Agrariërs kunnen ook besluiten in de situatie met winning een beregeningsinstallatie aan te schaffen die ze anders niet zouden hebben aangeschaft. Deze aanschaf geeft vaste en variabele kosten maar na aanschaf kan de droogteschade zonder winning worden opgeheven. Omdat is gerekend met een geldelijke opbrengst per ha van 'slechts' 2000 euro per ha per jaar zijn de baten van beregening veelal niet hoger dan de kosten. Bijgevolg valt er minder winst te behalen door de gevolgen van de winning op te heffen met uitbreiding van het beregenbare areaal. Een maximale schatting is 2,0 miljoen euro per jaar.

---

<sup>3</sup> Handleiding AGRICOM (M. Mulder Alterra; niet gepubliceerd)

### **Waterconservering**

Boeren en waterschappen gaan in de GGOR-situaties (zonder en met winning) optimaal water conserveren. De inschatting is dat in de situatie met winning waterconserveringsmaatregelen weinig extra soelaas bieden. Er wordt daarom vooralsnog geen correctie ingeboekt.

### **Netto landbouwschade**

De hiervoor besproken GGOR-correcties leveren een totale correctie op van maximaal 10 miljoen euro per jaar. Resteert 40 miljoen euro schade per jaar als gevolg van de wateronttrekking door waterbedrijven van 800 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Per onttrokken m<sup>3</sup> is dit 5 eurocent. In de beschouwing is gerekend met een redelijk droogtegevoelige bodem. Een conservatieve schatting is dat de gevoelig voor grondwaterstandsaling gemiddeld in de gebieden waar grondwater wordt onttrokken een factor 2 lager is. Daarmee wordt de fractie verdampingsreductie dus min of meer evenredig lager en dit resulteert in een netto schadebedrag van 10 à 20 miljoen euro per jaar.

Het bedrag is ruwweg een factor 10 hoger dan het momenteel jaarlijks aan schade-ondervindende agrariërs uitgekeerde schadebedrag door de waterbedrijven. Het maakt wel duidelijk dat een GGOR-met-en-zonder-winningbenadering wel eens op andere (hogere) schades kan uitkomen. Nog los van de effecten van klimaatverandering.

### **Effecten van klimaatverandering**

Bij het klimaatscenario W+ neemt het neerslagtekort in de zomer aanzienlijk toe, te vertalen naar een verdubbeling van de droogteschade. Dit betekent niet dat de gevoeligheid voor verlaging van de grondwaterstand door de winning met een factor 2 toeneemt. Te beredeneren valt dat die veel minder gevoelig is. Het gaat immers om een superpositieprobleem. En de verwachting is dat de winterneerslag voldoende blijft (neemt in de meeste scenario's toe) om de verlaging aan het eind van de zomer grotendeels weer op te vullen.

Wel mag er van worden uitgegaan dat de fysieke opbrengst per m<sup>3</sup> water, door technologische ontwikkelingen maar ook door een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte, in 2050 zal zijn toenemen met minstens 40%. De schade zal in ongeveer in deze verhouding toenemen.

Als een klimaatverandering leidt tot een afname van het veeljarig gemiddelde neerslagoverschot dan zijn de effecten op de afvoervermindering wel substantieel. De voeding uit afvoervermindering is in de orde van 15% (50 mm van 300 mm) van de jaarlijkse afvoer betrokken op 1,5 miljoen ha. Als de jaarlijkse afvoer vermindert met 30% is de afvoervermindering in de orde van 25% (50 mm van 200 mm).

## Discussie

Het sterke punt van de stationaire waterbalansbenadering is dat hij bestand is tegen het intuïtieve gevoel dat er veel winningen zijn gesitueerd op plekken waar er 'van nature' al hangwaterprofielen zijn en er dus geen schade is. Echter juist in deze gebieden treedt in superpositiegedachte geen voeding op, omdat er ook geen grondwaterstandsafhankelijke afvoer optreedt en er alleen maar hangwaterprofielen voorkomen.

De tegenwerping dat de grondwatervoeding in kwelgebieden naar boven komt snijdt maar gedeeltelijk hout. Ook in die kwelgebieden wordt de drainage zodanig verbeterd dat in de zomer droogteschade kan optreden. Wel is het zo dat de drainageweerstand lager is en dus de verhouding verdampingsreductieweerstand/drainageweerstand verandert, zodat het aandeel voeding uit afvoervermindering groter wordt. Daar staat tegenover dat in de overgangsgebieden met lichte wegzijging de drainageweerstand groter is en het aandeel kleiner. De bottom line in de redenering is dat de vermindering van de afvoer in hydrologische zin is gekoppeld aan de vermindering van de verdamping en dat maakt de methode robuust. Maar in de tijd zijn ze niet hydrologisch gekoppeld en daarom is de benadering minder waarheidsgetrouw.

De **fractie diffuus** is minder afhankelijk van de c-waarde dan vooraf ingeschat maar zal bij zeer hoge c-waarden overheersend worden. Maar bij zulke hoge c-waarden gaan de verlagingen van de winningen overlappen en verliest de benadering zoals beschreven zijn geldigheid. In het limietgeval is de voeding volledig diffuus. Stel verder dat het areaal waar drinkwater kan worden onttrokken 1 miljoen ha is. De zomeronttrekking is 350 miljoen m<sup>3</sup>. Dat is per ha 250 m<sup>3</sup> waarvan 25% uit reductie van de verdamping, is ca. 6 mm of 1,5% verdampingsreductie. De bijbehorende grondwaterstandsverlaging is 7,5 cm en dus hoger dan de schadegrens van 5 cm. Als we op grond van deze analyse besluiten dat er de fractie diffuus in bovenstaande analyse moet worden verwaarloosd wordt de netto landbouwschade navenant hoger.

**Oevergrondwaterwinningen** 'onttrekken' zich aan de gepresenteerde beschouwing en dus is hiervoor een correctie nodig als het gaat om de verhouding tussen voeding uit verdampingsreductie en voeding uit afvoervermindering.

De grootste 'voeder' van de grondwaterwinning is de afvoervermindering. 800 miljoen m<sup>3</sup> betrokken op 1,5 miljoen ha is ca. 50 mm per ha. Dit is in de orde van 15% van de afvoer. Dit zal gevolgen hebben voor de lengte van de periode van droogvallen van beken en sloten. De 'schade' aan de aquatische natuur wordt echter veelal lang niet zo gedetailleerd geanalyseerd als de schade aan de landbouw, terwijl dit in tijden waarin de KRW één der belangrijkste waterbeleidsthema's is misschien wel zou moeten. De discussie in de jaren zestig van de vorige eeuw over de toelaatbare hoeveelheid grondwaterwinning als fractie van het neerslagoverschot met het oog op de klimaatverandering wellicht nieuw leven in worden geblazen.

Een mogelijk kritiekpunt op de watervoetafdruk is dat de verdamping als een verliespost wordt beschouwd terwijl bekend is dat het verdampte water de verdamping benedenwinds doet afnemen c.q. de neerslag doet toenemen. Dezelfde kritiek is mogelijk op de voedings-voetafdruk. De onttrokken hoeveelheid drinkwater komt voor een belangrijk deel weer via de dwa van de rwzi's terug in het hydrologisch systeem.

Zoals mijn leermeester prof. v.d. Molen doceerde: De waterbalansbenadering moet het startpunt zijn van alle hydrologische beschouwingen. In een gekoppeld hydrologisch model is de waterbalans 'uit de aard der zaak' sluitend. Echter, zodra wordt losgekoppeld kunnen er balansfouten worden gemaakt omdat de overdracht veelal gebeurt met berekende stijghoogtes resp. grondwaterstanden. Dus naast de druk- en druppelbenadering (termen van Paul van Walsum) is er de good old waterbalansbenadering. Het verschil in de 3 benaderingen kan het beste worden geïllustreerd aan de hand van een grondwateronttrekking op de Veluwe. De drukbenadering levert een min of meer concentrisch verlagingsbeeld rondom het pompstation; de druppelbenadering levert het (veelal) druppelvormige intrekgebied en de balansbenadering zegt dat de voeding plaats vindt door vermindering van de afvoer en verdampingsreductie langs de flanken van de Veluwe. Je drinkt dus echt wel water afkomstig van de Veluwe (de druppelbenadering) maar de voedingsvoetafdruk geeft een andere (en wellicht contra-intuïtieve) uitkomst.

Die andere hydrologische 'grootheid', dr. Ernst, (Van Bakel, 1996) kwam reeds in 1967 tot een vergelijkbare uitkomst over het aandeel verdampingsreductie in permanente grondwateronttrekkingen, zij het met andere middelen. Wederom een aanwijzing dat wij onze bronnen van kennis niet goed weten af te tappen? Nu vrijwel alle ICW-nota's met hydrologische inhoud zijn gescand (dus ook de aangehaalde van Ernst, inclusief handgeschreven correcties) zijn ze door iedereen te (her)bronneren. Zie [www.debakelsestroom.nl](http://www.debakelsestroom.nl) en de NHV-site. De 'hydrologische grootheid' Ernst (van Bakel, 1996) was en blijft een belangrijke bron van kennis.

## Conclusies

Het in dit artikel beschreven onderzoek is een hypothese- en nieuwsgierigheids-gedreven vingeroefening in waterbalansdenken, toegepast op het inschatten van de effecten van drinkwaterwinningen. De resultaten van deze benadering zijn niet meer dan een benadering (en dus niet toepasbaar op concrete winningslocaties). Desondanks (of wellicht daardoor) zijn de uitkomsten robuust. En ze worden met vooruitwerkende kracht ondersteund door de analyse van Ernst (1967).

De belangrijkste resultaten zijn:

- 10 à 15% van ons drinkwater is afkomstig van reductie van (gewas)verdamping. Dit is in de orde van 1 à 2% van de jaarlijkse verdamping van een areaal van 1,5 miljoen ha;
- De veeljarig gemiddelde schade in de landbouw is in de orde van 10 à 20 miljoen euro per jaar. Dit bedrag, als de uitkomst van een globale benadering, is sterk afhankelijk van de uitgangspunten en correcties en daarom slechts indicatief;
- Per onttrokken m<sup>3</sup> is de landbouwschade in de orde van 2 à 3 eurocent. Een koopje, met dank aan onze natte winters;
- De grootste voeder van ons drinkwater is de vermindering van de afvoer en de effecten zijn procentueel een orde groter dan op de vermindering van de verdamping.

Tot slot: De vuistregel waarmee ik dit artikel begon geeft een redelijke maar wel een bovenschatting.

## Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, Huinink, J., Prak, H., Van der Bolt, F. (2005)** HELP-2005. Uitbreiding en actualisering van de HELP-tabellen ten behoeve van het Water nood-instrumentarium. STOWA 2005-16, STOWA, Utrecht
- Bakel, P.J.T. van en G.P. van den Eertwegh (2011)** Nieuwe mogelijkheden voor herziening van de HELP-tabel; in H2O 18 (2011): 31-33
- Bakel, P.J.T. van (1996)** De hydrologische grootheid 'Ernst'. Stromingen 2 (2): 17-21
- Bouwman, J.M.M. (1990)** Achtergrond en toepassing van de TCCB-tabel; Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging. Technische Commissie Grondwater Beheer, Utrecht
- Ernst, L.F. (1967)** Verandering in waterverbruik door gewassen op zandgrond tengevolge van veranderingen in grondwaterstand. ICW-nota 421
- Visser, W.C. (1958)** De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie Onderzoek Waterhuishouding van Nederland (COLN) - TNO