

Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse

Het geval Terwisscha

BTO2011.028(s)
November 2011

KWR Watercycle Research Institute

BTO

KWR Watercycle Research Institute

Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse

Het geval Terwisscha

BTO2011.028(s)
November 2011

© 2011 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.

Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl

Colofon

Titel
Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse

Opdrachtnummer
B111745

Onderzoeksprogramma
GvsT

Projectmanager
ir. J.W. Kooiman

Opdrachtgever
CvO

Kwaliteitsborger
prof. dr. P.J. Stuyfzand

Auteur
dr. ir. C. Maas

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Samenvatting

In het kader van het BTO - project *Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse* is onderzocht waarom in het geval van de grondwaterwinning Terwisscha tijdreeksmodellen consistent een grotere invloed op de grondwaterstand te zien gaven dan andere modellen. Het bleek dat de tijdreeksanalisten geen rekening hadden gehouden met een geleidelijke daling van de grondwaterstand door onbekende of niet goed gedocumenteerde oorzaken; een verschijnsel dat wel als *achtergrondverdroging* aangeduid wordt. Het gevolg was dat de achtergrondverdroging aan de winning toegeschreven werd. Met een eigen analyse kon de grootte van de achtergrondverdroging vastgesteld worden. Nadat de resultaten van de voorgaande tijdreeksmodellen hiervoor gecorrigeerd waren bleek de tegenstelling met andere modellen geheel opgeheven te zijn.

Achtergrondverdroging is een verschijnsel dat in elk geval in de oostelijke helft van Nederland algemeen voorkomt en vermoedelijk in heel Nederland bestaat. Overal waar een grondwaterwinning geleidelijk in omvang is toegenomen correleert hij met de achtergrondverdroging, waardoor een tijdreeksmodel de invloed van de winning op de grondwaterstand overschat. Om de twee effecten te kunnen scheiden moeten ook reeksen geanalyseerd worden van peilbuizen die buiten de invloedssfeer van de winning staan.

Inhoud

Samenvatting **1**

Inhoud **2**

1 Inleiding **3**

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek 3

1.2 Opzet van het onderzoek 3

2 Beschrijving van de situatie **4**

2.1 Topo- en hydrografie 4

3 Eerder onderzoek **10**

3.1 Inleiding 10

3.2 Achtergrondverdroging 11

3.3 Resultaten van eerder onderzoek 11
3.3.1 RID (1955) 11
3.3.2 De Vries (1974) 12
3.3.3 CoWaBo (1979) 13
3.3.4 IWACO (1980) 14
3.3.5 TCGB (1988) 15
3.3.6 TNO (1991) 15
3.3.7 TCGB (1994) 16
3.3.8 TNO (1995) 18
3.3.9 Kiwa (1995) 18
3.3.10 Witteveen + Bos (2005) 19
3.3.11 Vitens (2007) 20
3.3.12 HKV (2008) 20

3.4 Slot 22

4 Synthese **25**

4.1 Analyse 25
4.1.1 Correctie van de tijdreeksmodellen 28
4.1.2 Commentaar 30

5 Generalisatie **32**

6 Aanbevelingen **34**

7 Referenties **35**

I Appendix **38**

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

Tijdreeksanalyse van grondwaterstanden wordt al een jaar of 25 toegepast, onder meer om de invloed van grondwaterwinning op de omgeving vast te stellen. Aanvankelijk behoorde de techniek tot het domein van specialisten, maar dankzij de komst van gebruiksvriendelijke software vindt hij inmiddels algemeen toepassing door praktiserende geo- en ecohydrologen. De populariteit wordt natuurlijk in de hand gewerkt doordat er steeds meer meetgegevens beschikbaar komen.

Tijdreeksanalyse is een welkome aanvulling op de meer traditionele techniek van numerieke grondwatermodellering, omdat de twee methoden onafhankelijk van elkaar zijn. De één gaat uit van metingen, de andere van fysische wetmatigheden. Ze kunnen elkaar niet volledig vervangen, maar er is een grote overlap in toepassingsgebied. Als ze daarin naast elkaar gebruikt worden, zouden ze in principe hetzelfde antwoord moeten opleveren. In de praktijk blijkt dat lang niet altijd het geval te zijn. Dat kan op bestuurlijk niveau vervelende situaties opleveren, bijvoorbeeld als er over de invloed van een winning een geschil bestaat. Wie zal zeggen wie er gelijk heeft?

Natuurlijk is de tegenstelling schijnbaar; de invloed van een winning hangt niet af van de rekenmethode. Het BTO-onderzoeksproject Grondwatermodellen versus Tijdreeksanalyse heeft ten doel om voor concrete situaties uit te zoeken wat de oorzaak het conflict kan zijn. De begeleidingsgroep heeft voorkeur uitgesproken voor het diepgaand analyseren van één evident geval. Zo'n geval is Terwisscha. Het gaat om een grondwaterwinning waaraan veel onderzoek is verricht. Er bestaan minstens tien rapporten met uitspraken die op het eerste gezicht niet met elkaar te rijmen zijn. De winning vormt ook een bestuurlijk probleem en er zijn grote financiële belangen mee gemoeid.

1.2 Opzet van het onderzoek

Na een beschrijving van de situatie bespreken we de eerder uitgevoerde onderzoeken. Door ze op de goede manier met elkaar te vergelijken zal blijken dat er feitelijk maar twee verschillende resultaten zijn. Er is een gemengde groep van onderzoeken waarin verschillende technieken toegepast werden, met uitzondering van tijdreeksanalyse. Deze onderzoeken leveren onderling sterk gelijkende resultaten op. Dan is er een tweede groep met afwijkende resultaten, die echter onderling weer sterk overeenstemmen. Binnen deze groep werd uitsluitend tijdreeksanalyse beoefend. Terwisscha is dus inderdaad een goede keuze voor dit BTO-project. We bespreken in dit rapport de oorzaak van de tegenstelling en gaan na of er sprake is van een incidenteel of van een exemplarisch geval.

2 Beschrijving van de situatie

2.1 Topo- en hydrografie

De winning Terwisscha ligt nabij Appelscha in het Drents-Friese Wold; een voor Nederlandse begrippen uitgestrekt natuurgebied dat uit bossen, heide en stuifzand bestaat (figuur 1). Ongeveer op de provinciegrens loopt dwars door het gebied een gegraven watergang, de Tilgrup, die een sterk drainerende werking heeft. Verder ontspringt er in het Friese deel een beek die nogal eens van naam veranderde en tegenwoordig Vledder Aa genoemd wordt. Voor het overige watert het gebied ondergronds af op de wijde omgeving, die voornamelijk agrarisch in gebruik is (figuur 2).

Figuur 3 is een topgrafische kaart waarop de watergangen ingetekend zijn die momenteel gedurende minstens een deel van het jaar watervoeren. Op deze kaart is ook de plaats van de winning aangeven door middel van een driehoekje, overeenkomstig de uitleg van het puttenveld. Het gebied helt van het zuidoosten naar het noordwesten (figuur 4), waardoor de grondwaterstroming voor aanvang van de winning globaal noordwestelijk gericht was. Tegenwoordig stroomt er natuurlijk veel grondwater in de richting van de winning.

De opbouw van de ondergrond is tamelijk complex. Figuren 5 en 6 geven twee geohydrologische profielen, die elkaar ter plaatse van het pompstation kruisen. Figuur 5 is van west naar oost, figuur 6 van noord naar zuid. Er is sprake van een dik watervoerend pakket - officieel het tweede - waaruit het water onttrokken wordt op een diepte tussen 40 en 110 meter beneden maaiveld. Hoog in het profiel bevindt zich keileem, die in horizontale zin overigens geen aaneensluitende laag meer vormt. Figuur 7 toont de verbreiding. Er is duidelijk een patroon te herkennen van erosiegeulen, waar de keileem weggespoeld is. Waar de keileem nog aanwezig is kan de doorlatendheid sterk variëren. In het west-oost-profiel komt helemaal oostelijk bovenin het profiel potklei voor. In het noord-zuid-profiel is te zien dat deze kleilaag naar het noorden toe erg dik wordt, maar over de begrenzing en de aaneensluiting bestaat onzekerheid. Figuur 8 toont de verbreiding. Afgezien van mogelijke onderbrekingen is de potklei overeenkomstig zijn naamgeving zeer ondoorlatend.

Vroeger was het gebied buiten het Drents-Friese Wold 's winters erg nat (figuur 9). Sindsdien is de waterhuishouding sterk verbeterd; inundatie komt haast niet meer voor. Zoals aan figuur 2 te zien is kan het er nog steeds drassig zijn, maar dat ligt niet meer aan een gebrekkige afwatering.

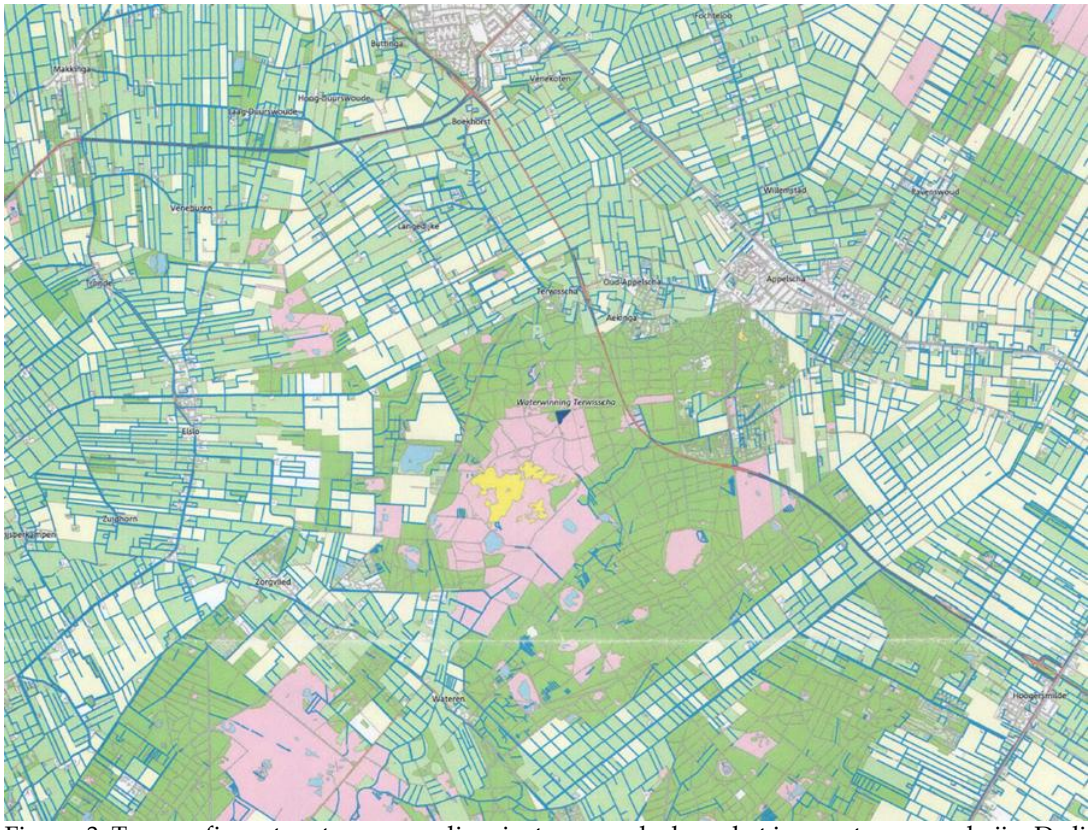
Figuren 1 en 2 zijn collages van foto's die particulieren op Google Earth gezet hebben.
Wie een goede indruk wil krijgen van de topografie vliege in Google Earth naar Appelscha. Het puttenveld ligt op 52 56 32 N en 6 18 08 E.
Figuren 3 t/m 9 zijn overgenomen uit DLG (2005), die ze weer uit ander bronnen heeft geput.



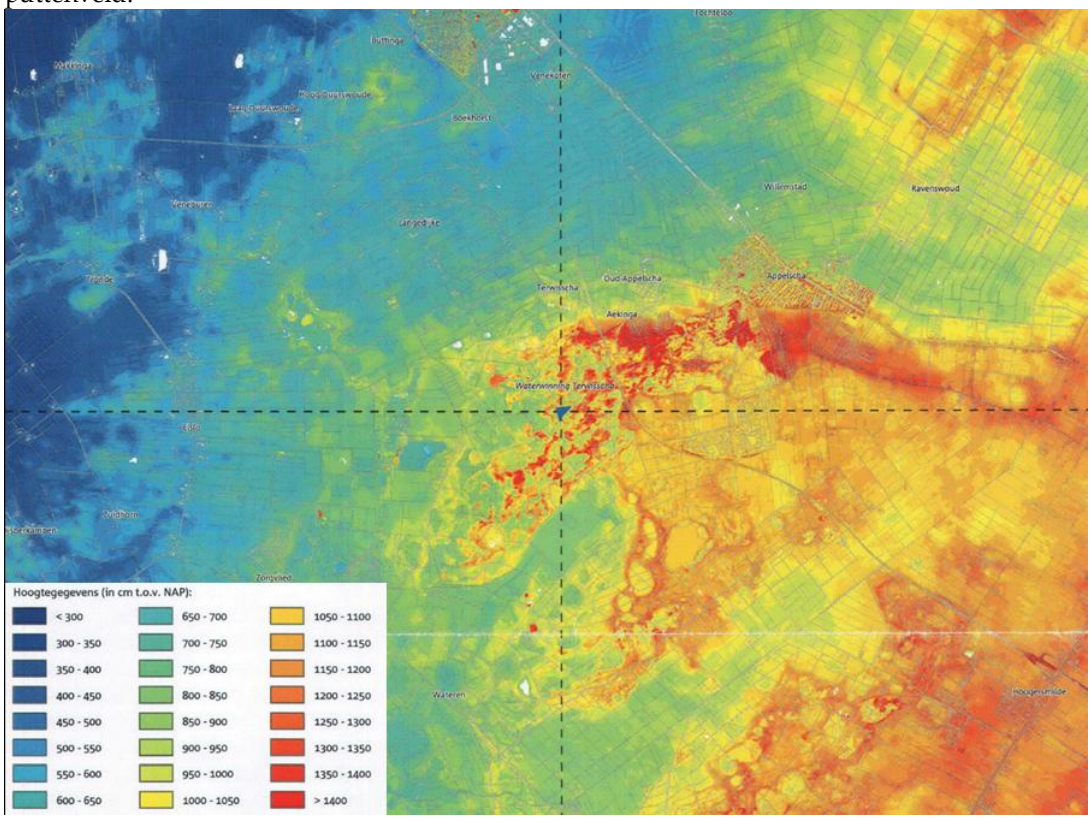
Figuur 1: Een impressie van het Drents-Friese Wold...



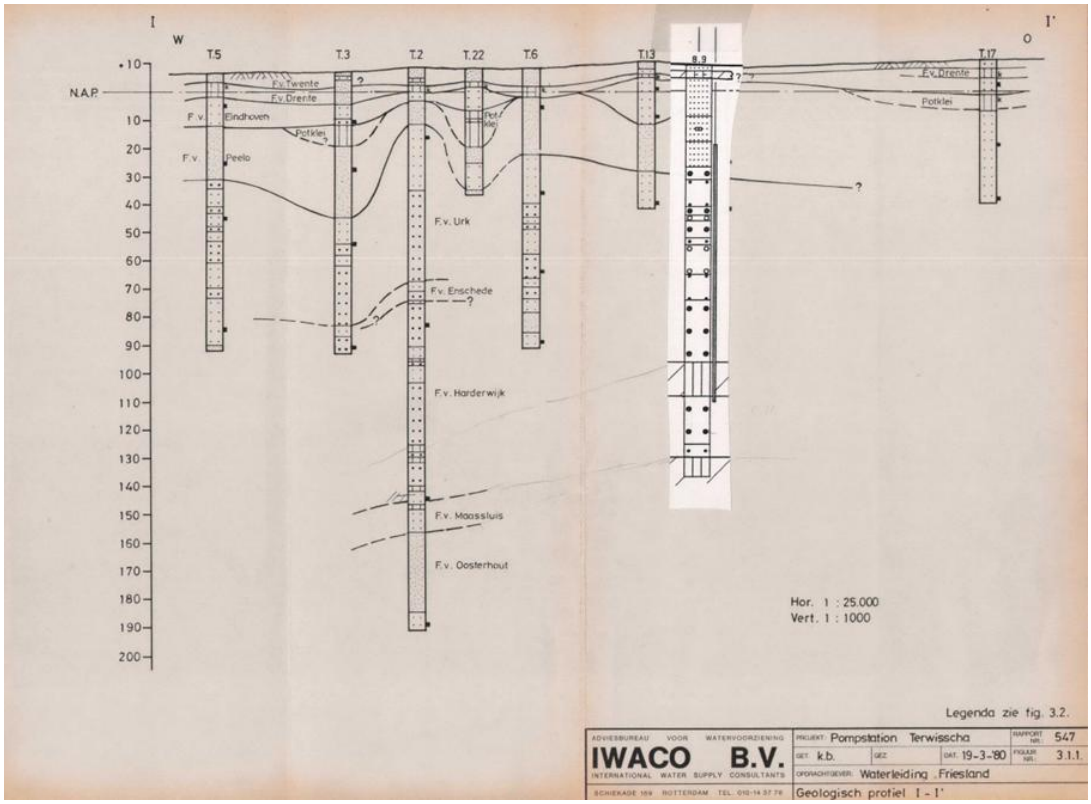
Figuur 2: en van de wijde omgeving. De vaart links onder is de Tilgrup.



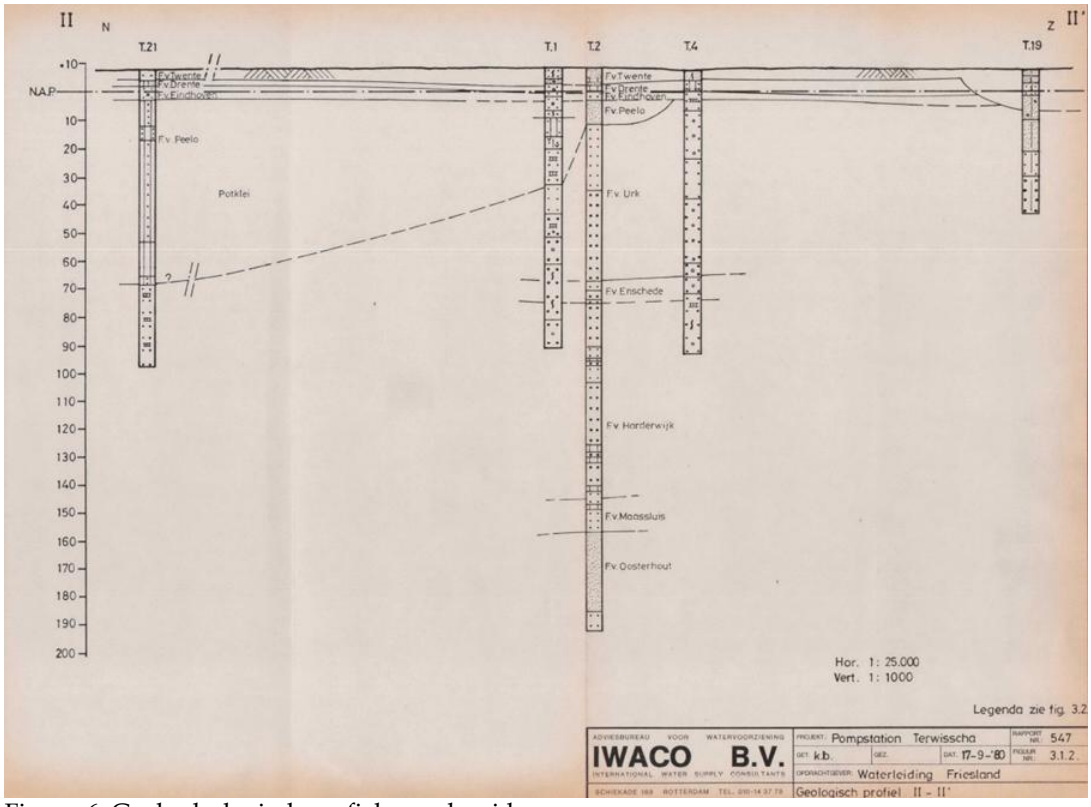
Figuur 3: Topografie met watergangen die minstens een deel van het jaar watervoerend zijn. De ligging van de winning is aangegeven met een blauw driehoekje, overeenkomend met de uitleg van het puttenveld.



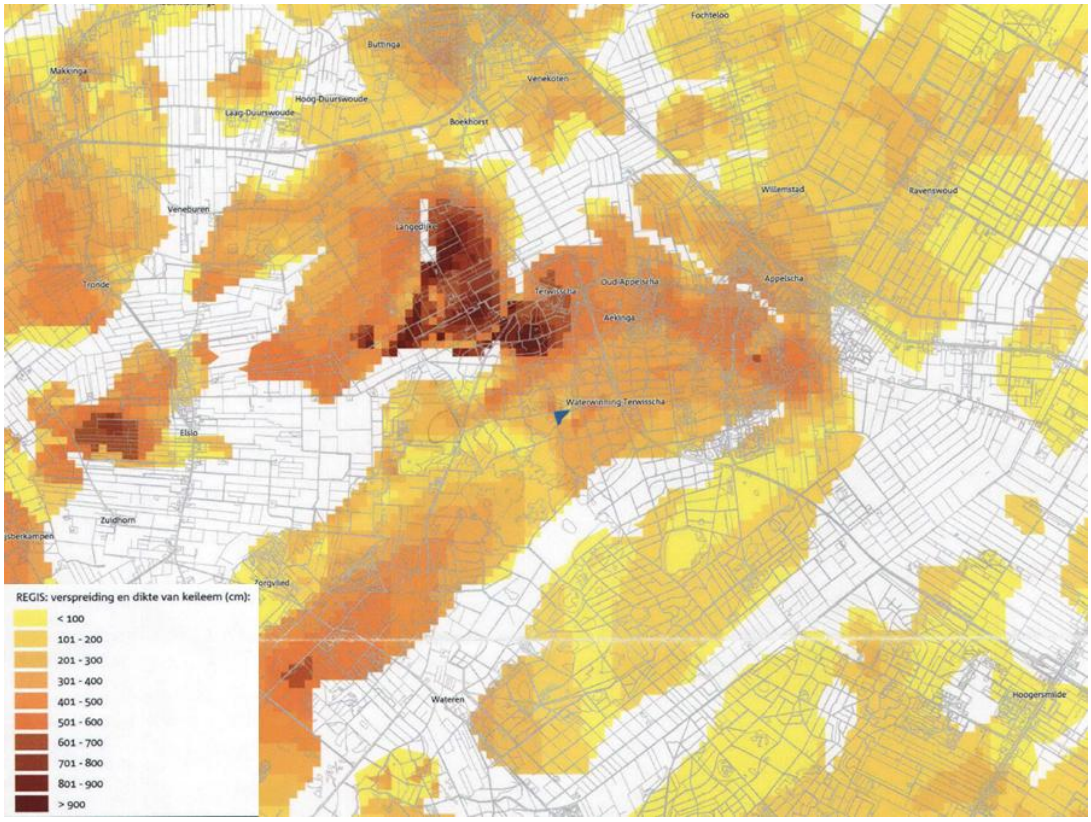
Figuur 4: Hoogtekaart



Figuur 5: Geohydrologisch profiel oost-west, vermoedelijk nog afkomstig van het RID.



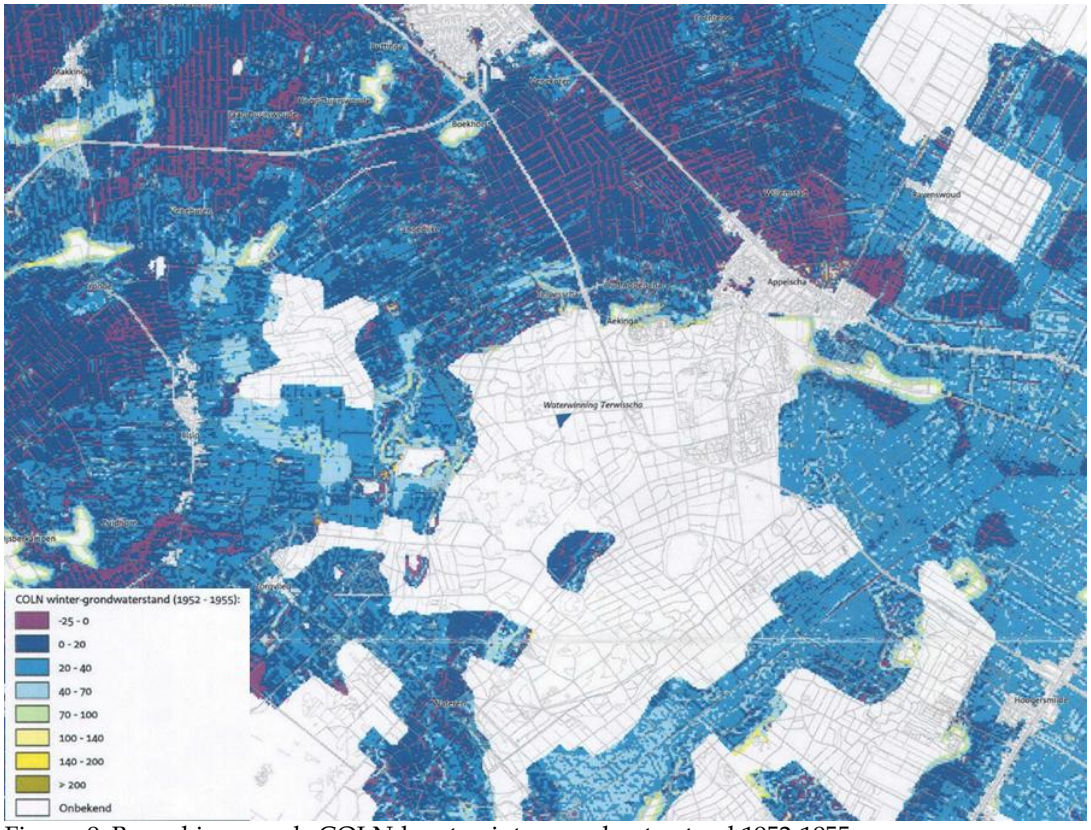
Figuur 6: Geohydrologisch profiel noord-zuid



Figuur 7: Horizontale verbreiding van de keileem



Figuur 8: Horizontale verbreiding van de potklei



Figuur 9: Bewerking van de COLN-kaart, wintergrondwaterstand 1952-1955.

3 Eerder onderzoek

3.1 Inleiding

Er is in de loop der jaren veel onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de winning op de grondwaterstand in de omgeving, beginnend met een pompproef in 1954 en verkennende berekeningen door het toenmalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, op verzoek van de toenmalige N.V. Intercommunale Waterleiding Gebied Leeuwarden (RID, 1955). De winning startte in 1960, met aanvankelijk een bescheiden debiet van een paar honderdduizend kubieke meter per jaar. Vanaf 1969 nam hij snel in omvang toe om in 1974 de vergunde capaciteit van 3 miljoen m3/jaar te bereiken. Omdat er uitbreidingsplannen bestonden analyseerde De Vries in dat jaar enkele stopproeven die al in 1964 uitgevoerd waren door het waterleidingbedrijf, inmiddels N.V. Waterleiding Friesland geheten (De Vries, 1974). Hij bestudeerde ook het actuele grondwaterstandspatroon en voerde analytische berekeningen uit om de toekomstige invloed in te schatten bij een jaarcapaciteit van 5 miljoen kubieke meter. Het lijkt erop dat daarna vergunning verleend werd voor het onttrekken van 7.5 miljoen m^3 grondwater per jaar. Toen omstreeks 1980 de winning een niveau van 4.5 miljoen bereikt had kreeg IWACO opdracht om de verlagingen in te schatten in geval de vergunning volledig benut zou worden (IWACO, 1980). Kort tevoren had de CoWaBo onderzoek gedaan naar aanleiding van een klacht van ene T. Ausma, die vermoedde dat hij droogteschade leed door de aanleg van een zandwinplas, het Aekingermeer, dat later Canadameer genoemd zou worden (CoWaBo, 1979). Het land van Ausma lag ruim twee kilometer zuidwestelijk van Terwisscha. De commissie kon geen invloed van de zandwinning vaststellen, maar vermoedde wel invloed van het pompstation. IWACO had het voordeel dat de winning al lang in bedrijf was en als een proef op praktijkschaal beschouwd kon worden. Het bureau maakte al een numeriek model dat naar huidige maatstaven wel eenvoudig genoemd kan worden, maar dat wil niet zeggen dat het niet goed zou zijn. De ervaring met numerieke grondwatermodellen was destijds echter nog zo beperkt dat het model alleen gebruikt werd als ondersteuning van analytische berekeningen. Uiteindelijk werd de voorspelling gedaan met formules. In 1988 maakte ook de TCGB een grondwatermodel met het programma STATRECT van het RID (dat inmiddels was opgegaan in het RIVM). STATRECT was de eerste Nederlandse grondwatercode; het was een eindig elementenprogramma waarvoor Van den Akker al in 1970 de basis had gelegd. Van de modelmatige inspanning van de TCGB hebben we geen papieren verslag kunnen vinden, maar de uitkomsten werden in een later TCGB-rapport samengevat. De TCGB raakte bij de zaak betrokken doordat er inmiddels schadeklachten gedeponeerd waren. De commissie bepaalde de invloed van de winning op basis van grondwaterstandswaarnemingen. Ze gebruikte daarbij een geheel eigen variant op de zogenaamde venstermethode, die later door verschillende onderzoekers zou worden afgebrand, maar die bij nadere beschouwing juist navolging verdient omdat hij een aantal potentiële valkuilen omzeilt. Op basis van haar bevindingen bracht de TCGB eind 1994 een advies uit over de schade per bedrijf, gerekend over de periode 1967 t/m 1993, en ze gaf ook een schatting van de toekomstige jaarlijkse schade. De gelaedeerden gingen uiteindelijk slechts tandenknarsend accoord met een schaderegeling, en niet dan nadat er een factor 1, 653 was losgelaten op het schadebedrag. De reden van hun weerstand was een TNO-rapport dat tijdens de onderhandelingen uitkwam (TNO 1991). Ten behoeve van een optimalisatie van de Friese grondwatermeetnetten rond pompstations had TNO alle Friese drinkwaterwinningen aan een tijdreeksanalyse onderworpen. Voor Terwisscha weken haar uitkomsten sterk af van de bevindingen van de TCGB: de verlagingen waren over het hele schadegebied ca. 30cm groter, en het invloedsgebied van de winning strekte zich veel verder uit. Eén van de betrokken agrariërs liet het TNO nog eens opnieuw uitzoeken voor de omgeving van zijn eigen bedrijf. Het instituut bevestigde zijn eerdere resultaten (TNO, 1995), waarop het waterleidingbedrijf Kiwa opdracht verleende om na te gaan wie er gelijk had (Kiwa, 1995). Kiwa voerde ook een tijdreeksanalyse uit en vond wezenlijk hetzelfde als TNO. Toch kon het onvoldoende argumenten vinden om de uitkomst van de TCGB te ontkrachten. Het diplomatieke advies was dan ook dat het ervan afhing hoe men ernaar keek, waardoor het feitelijk een beleidskeuze werd (wie draait op voor de onzekerheid?). De onttrekking draaide nu al jaren op ongeveer 6.5 miljoen. De zaak kwam weer aan het rollen toen Witteveen + Bos in het kader van een project Integraal Waterbeheer Terwisscha een MicroFem-model maakte om de effecten te onderzoeken van een

eventuele verplaatsing van de winning (Witteveen + Bos, 2006). Hoewel er geen scenario in voorkwam waarbij alleen het pompstation werd uitgeschakeld ontstond de indruk dat de invloed van de winning groter was dan de TCGB dacht, en dat het oordeel van TNO beter in de richting kwam. Voor een grote groep agrariërs was dit aanleiding voor een brief aan Gedeputeerde Staten met de vraag om een nieuw onderzoek door de TCGB, die inmiddels CDG heette. De CDG liet dit wijselijk over aan DLG-noord, welke dienst alle voorgaande resultaten op een rij zette en concludeerde dat het model van Witteveen + Bos op dat moment het beste was wat er voorhanden was (DLG, 2005; het rapport van DLG verscheen eerder dan het rapport van Witteveen + Bos). Hoewel we zullen zien dat daarmee de resultaten van de TCGB niet weersproken werden, werd het door de belanghebbenden wel zo geïnterpreteerd. De CDG kwam in mei 2006 met een advies, maar de verhoudingen waren inmiddels zo slecht dat het niet meer tot een inhoudelijk bespreking kwam. Een informele bemiddelingspoging door een gedeputeerde liep op niets uit, waarna de burgemeester van Ooststellingwerf een bemiddelende rol op zich nam. Hij liet zich vergezellen door prof. Van Hall, die als hoogleraar en dijkgraaf van waterschap Hunze en Aa's gezag geniet op watergebied. HKV kreeg opdracht om een review op te stellen. De uitkomsten ondersteunden onverkort het standpunt van TNO (HKV, 2008). Doordat het waterleidingbedrijf daarmee inhoudelijk niet accoord kon gaan strandde ook deze bemiddelingspoging. Uiteindelijk is het geschil nu onderwerp van arbitrage. De arbiters hebben vastgesteld dat de verlagingen die volgens het TCGB-rapport uit 1990 in elk geval voor het watervoerende pakket correct waren. Over de freatische verlagingen hebben zij zich nog niet uitgesproken.

Het bestuurlijke aspect van deze zaak is dat de winning minstens gedeeltelijk verplaatst zal moeten worden omdat het Drents-Friese Wold een Natura 2000-gebied is. Het waterbedrijf wil gebruik blijven maken van de zuivering, dus de nieuwe locatie wordt gezocht binnen een straal van tien kilometer. Het is echter onmogelijk om het nodige vooronderzoek uit te voeren, omdat de terreineigenaren van de nieuwe locatie geen medewerking verlenen zolang de schadekwestie Terwisscha niet bevredigend is afgehandeld. Het gebiedsontwikkelingsproces zit dus op slot.

3.2 Achtergrondverdroging

De kern van het dispuut blijkt te draaien om *achtergrondverdroging*, een vaag begrip dat de neiging heeft om voortdurend van betekenis te veranderen. De term werd ooit gelanceerd om de verdroging van natuurgebieden aan te duiden voor zover die het gevolg is van niet achterhaalbare externe oorzaken (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). Van oorsprong viel dus de verlaging ten gevolge van geregistreerde ingrepen - zoals ruilverkavelingen en grondwaterwinning - niet onder achtergrondverdroging. Langzamerhand is het begrip echter steeds breder toegepast, en tegenwoordig wordt het vaak gebruikt voor het verschijnsel dat de grondwaterspiegel in vrijwel heel Nederland al heel lang een dalende tendens vertoont. Het onderscheid tussen natuur- en cultuurgebieden is weggevallen en ruilverkavelingen en grondwaterwinning worden algemeen als hoofdoorzaken genoemd. Dat is misleidend, omdat het woord verdroging een negatieve klank heeft, terwijl buiten de natuurgebieden de daling van de grondwaterstand in de meeste gevallen juist positief uitwerkt. Landbouwers die horen dat hun land onderhevig is aan achtergrondverdroging vrezen echter dat ze droogteschade lijden en zoeken daarvoor compensatie; in het geval Terwisscha bij het waterbedrijf. Ze worden daarin gesteund door het rapport van HKV, waar het stelt dat het wetenschappelijk onmogelijk is om de verlaging van de grondwaterstand door waterwinning te scheiden van de verlaging door andere oorzaken, zodat het redelijk lijkt om het waterbedrijf aansprakelijk te stellen.

3.3 Resultaten van eerder onderzoek

We bespreken de uitkomsten van eerder onderzoek in chronologische volgorde.

3.3.1 RID (1955)

Zoals gezegd voerde het RID ter voorbereiding van de bouw van het pompstation een pompproef uit. Hij werd gehouden op 17 en 18 mei 1954 en duurde 24 uur, aan het einde waarvan de grondwaterstand niet meer leek te dalen. De interpretatie werd uitgevoerd met de formule van De Glee en leidde tot

$$kD = 3550 \text{ m}^2/\text{dag}$$
$$c = 62.5 \text{ dagen} \tag{1}$$

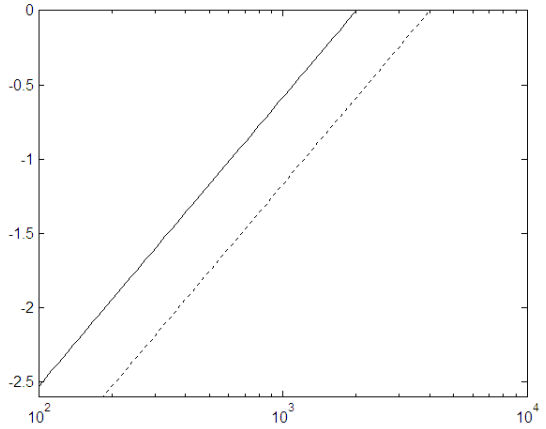
Omdat er in een ruime omgeving geen oppervlaktewater is te bekennen wekte de lage c-waarde bij verschillende latere onderzoekers bevreemding. Het is echter duidelijk dat hier sprake geweest is van vertraagde uitlevering; als de proef doorgezet zou zijn zou de grondwaterstand weer verder zijn gaan dalen. Dit verschijnsel zou later bekend worden als het Boulton-effect, maar de onderzoekers van het RID wisten al in 1954 dat ze niet op deze c-waarde af konden gaan om de invloedssfeer van de toekomstige winning in te schatten. Om de afstand tot de (schijnbare) *voedende grens* te bepalen verlieten ze zich op topkaarten, waarna ze op grond van het afwateringsstelsel twee mogelijkheden presenteerden:

$$R = 2000 \text{ m}$$
$$R = 4000 \text{ m} \tag{2}$$

Deze getallen werden beschouwd als grenzen waartussen de invloedsstraal van de winning zou moeten liggen. De uitkomsten werden gebruikt om met de formule van Dupuit een verlagingskegel te construeren:

$$h = \frac{Q}{2\pi kD} \ln \frac{r}{R} \tag{3}$$

waarin h de verlaging is, Q het debiet van de toekomstige winning, kD het doorlaatvermogen van de winningsaquifer, r de afstand tot het centrum van de winning en R de ligging van de cirkelvormig gedachte voedende grens. Er werd een verlagingskegel gepresenteerd voor een winningsomvang van 1400 m³/d, maar met het oog op de vergelijking die we willen uitvoeren met andere onderzoeken geven wij in figuur 10 de kegel voor een onttrekking van 6.5 miljoen m³/jaar. De schaal is semi-logaritmisch, omdat dat goed bij de formule van Dupuit past.



Figuur 10: Verlagingskegel(s) volgens RID (1955), maar bij een onttrekking van 6.5 miljoen m³/jaar. De lijnen geven de grenzen aan waarbinnen de werkelijke kegel verwacht werd. De schaal is semi-logaritmisch.

3.3.2 De Vries (1974)

Toen begin jaren '70 de vergunde capaciteit bereikt was en de waterbehoefte verder steeg voerde De Vries aanvullend onderzoek uit. Op grond van stopproeven schatte hij

$$3500 \text{ m}^2/\text{d} < kD < 4000 \text{ m}^2/\text{d}$$
$$c \approx 100 \text{ d} \tag{4}$$

Ook De Vries realiseerde zich dat deze c-waarde niet bruikbaar was voor verlagingsberekeningen. Op grond van de topografie schatte hij een invloedsstraal van 3000 meter, waarmee hij wijselijk het midden hield tussen de grenzen die door het RID waren aangegeven. Om de toekomstige invloed te voorspellen hield De Vries $kD = 4000$ m^2/d aan, dus

$$\begin{aligned} kD &= 4000 \text{ m}^2/\text{d} \\ R &= 4000 \text{ m} \end{aligned} \tag{5}$$

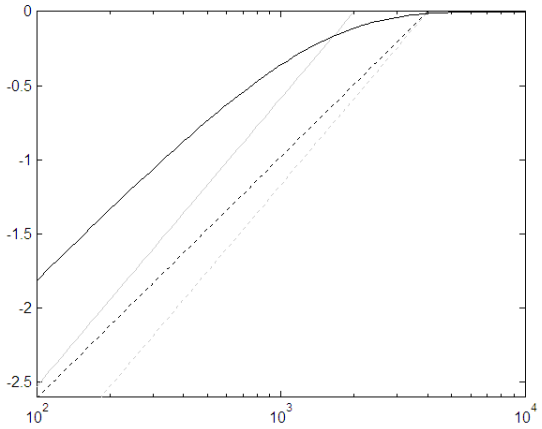
Hij merkte echter op dat de voedende grens 's winters dichterbij gezocht zou moeten worden, omdat een deel van het afwateringsstelsel alleen 's winters water voert. Voor de winter vond hij op basis van een formule van Ernst en weer ondersteund door topografische kenmerken een voedingsweerstand van

$$c_{\text{winter}} = 330 \text{ d} \tag{6}$$

waarmee een invloedsstraal van $R_{\text{winter}} = 1000$ m berekend zou kunnen worden. Voor de wintersituatie gebruikte De Vries echter niet de formule van Dupuit, maar die van De Glee:

$$h = -\frac{Q}{2\pi kD} \mathrm{K}_0\left(\frac{r}{\sqrt{kDc}}\right) \tag{7}$$

Hij deed zijn voorspelling voor 5 miljoen m/jaar, maar wij presenteren de resultaten weer voor 6.5 miljoen (figuur 11).



Figuur 11: Verlagingskegel(s) volgens De Vries (1974), maar voor een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De getrokken lijn is voor de wintertoestand, de gestippelde voor de zomer. De grijze lijnen zijn die van het RID (1955).

Het onderzoek van De Vries leidde tot een vergunning voor het winnen 7.5 miljoen m3 grondwater per jaar.

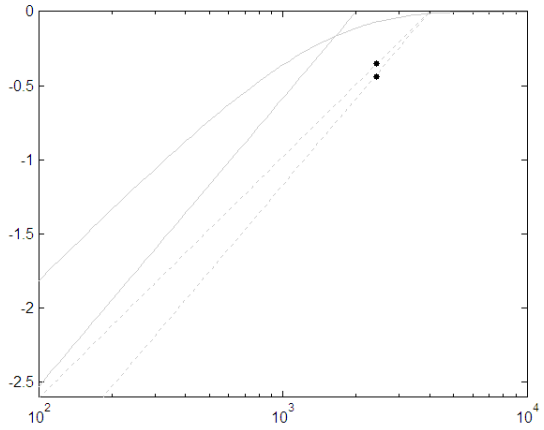
3.3.3 CoWaBo (1979)

Naar aanleiding van een schademelding door T. Ausma deed de CoWaBo een onderzoek naar de gevolgen van de aanleg van een zandwinplas, het huidige Canadameer, ruim twee kilometer ten westen van de winning. Het land van Ausma grensde aan het meer. Er stond en staat nog steeds een peilbuis op 2400 meter vanaf het huidige zwaartepunt van de winning. Volgens de CoWaBo was de invloed van het meer nagenoeg nihil, maar de commissie wees wel op de invloed van de winning, die ze inschatte op basis van

$$\begin{aligned} kD &= 3350 \text{ m}^2/\text{d} \\ R &= 3750 \text{ a } 4200 \text{ m} \end{aligned} \tag{8}$$

De eerste waarde is ontleend aan RID (1955). De herkomst van de keuzen voor R is minder duidelijk. Voor de bewuste peilbuis werden verlagingen berekend die we weergeven in figuur 12, omgerekend naar 6.5 miljoen m^3/jaar.

3.3.4 IWACO (1980)



Figuur 12: Verlaging op het perceel van T. Ausma, volgens CoWaBo (1979), maar voor een onttrekking van 6.5 miljoen m^3/jaar. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

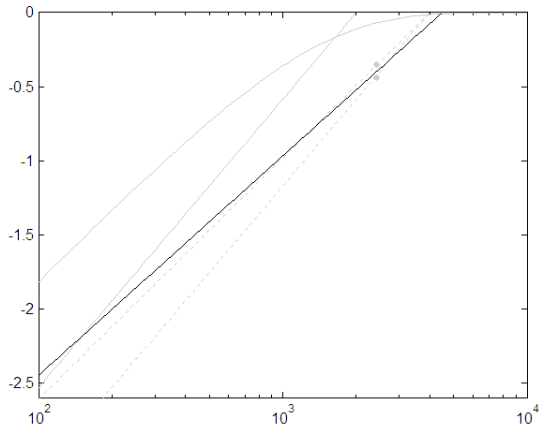
Eind jaren 70 had de winning een jaaromvang van 4.2 miljoen m^3, terwijl de vergunde capaciteit 7.5 miljoen bedroeg. Omdat de vraag naar water bleef toenemen gaf de N.V. Waterleiding Friesland opdracht aan IWACO om de gevolgen van het volledig benutten van de vergunning te onderzoeken. Wellicht waren de bevindingen van de CoWaBo daarbij een overweging. IWACO was de eerste om het bestaande verlagingenpatroon te onderzoeken. Door voor een groot aantal peilbuizen correlatie- en regressieberekeningen uit te voeren ten opzichte van een stambuis konden verlagingskegels vastgesteld worden voor de jaren 1972 en 1977, gerekend ten opzichte van 1962. In principe was dat voldoende om de bodemconstanten af te leiden die nodig zijn voor de formule van Dupuit, maar IWACO hield toch ook nog een pompproef. Misschien was het bedrijf er niet zeker van of Dupuit toegepast mocht worden, gezien de heterogene opbouw van de ondergrond. Dit vermoeden wordt ondersteund door het feit dat er verschillende formules werden uitgeprobeerd, terwijl er ook een eenvoudig eindig elementenmodel opgesteld werd. De pompproef werd geïnterpreteerd met de methoden van Walton, De Glee en Chow. De resultaten verschilden wat, maar het rapport presenteert de volgende gemiddelden:

$$\begin{aligned} kD &= 4325 \text{ m}^2/\text{d} \\ c &= 76 \text{ d} \end{aligned} \tag{9}$$

De c-waarde volgde alleen uit de interpretatie met de formule van De Glee, en hij duidt weer op vertraagde uitlevering, hoewel de pompproef veel langer werd doorgezet dan eerdere pomp- en stopproeven (namelijk 18 dagen). Inderdaad lijken de verlagingen na ongeveer een dag stationair te worden. Pas na een dag of vijf beginnen ze weer verder toe te nemen, maar daarop gaf IWACO geen commentaar. Om toekomstige verlagingen te voorspellen werd uiteindelijk toch gekozen voor Dupuit, met

$$R = 4500 \text{ m} \tag{10}$$

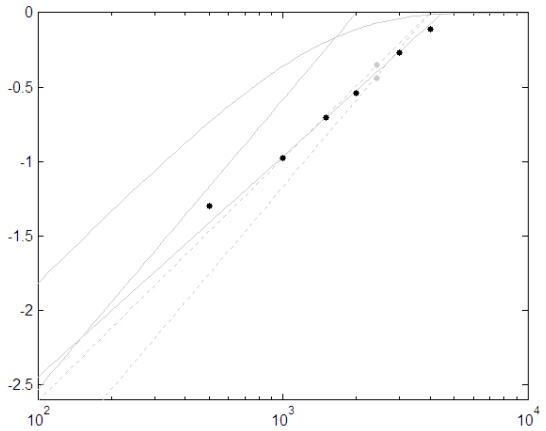
Dit is wat groter dan voorgaande waarden, maar IWACO merkte op dat de voedende grens onder invloed van de winning verder weg kan komen te liggen, doordat sloten in het natte seizoen misschien minder lang watervoerend zullen zijn. Er is dus enige veiligheid ingebouwd. De kD-waarde werd afgerond op 4400 m^2/d. Figuur 13 toont de hierbij horende verlagingskegel bij een onttrekking van 6.5 miljoen m^3/j.



Figuur 13: Verlagingskegel volgens IWACO (1980), maar voor een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

3.3.5 TCGB (1988)

In 1988 vervaardigde de TCGB een grondwatermodel op basis van het eindige elementprogramma STATRECT van het RIVM. We hebben geen rapport kunnen vinden en kennen de aanleiding niet. Mogelijk gaat het om een afstudeerwerk. Ten opzichte van de eerder gebruikte formules heeft een numeriek model het voordeel dat de heterogene opbouw van de ondergrond in rekening gebracht kan worden. Dat is vooral van belang voor de keileem en de potklei, die ruimtelijk gezien erg ongelijkmatig verdeeld zijn. TCGB (1990) geeft enkele resultaten, die omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen in figuur 14 zijn afgebeeld.

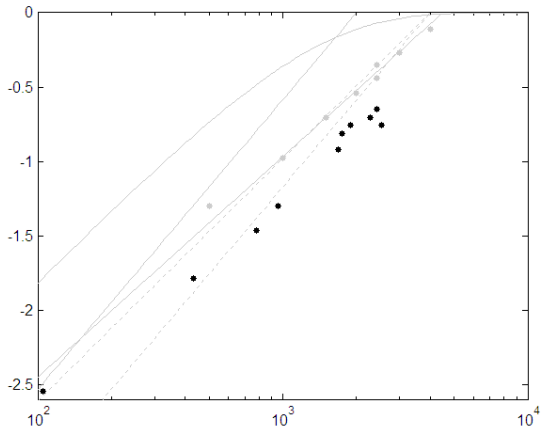


Figuur 14: Verlagingen op diverse afstanden van de winning volgens TCGB (1988, afgeleid uit TCGB 1994) en omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j). De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

3.3.6 TNO (1991)

In 1991 droegen de Waterleidingmaatschappij Friesland en de Provincie Friesland het Instituut voor Grondwater en Geo-Energie van TNO op om een grondwatermeetnet voor Friesland te ontwerpen. Het instituut evalueerde in dat kader de "secundaire" grondwatermeetnetten rond de Friese grondwaterwinningen, waarbij het zich bediende van tijdreeksanalyse volgens de methode Box-Jenkins, een vorm van Transfer-ruis-analyse. TNO was destijds vrijwel de enige aanbieder van deze kennis; buiten TNO was er alleen bij Kiwa een specialist die de techniek beheerste. Als oorzaken van grondwaterstandsfluctuaties werden het neerslagoverschot en de grondwaterwinning aangewezen. Overige oorzaken kwamen voor rekening van een ruismodel, wat betekent dat ze aan toeval

toegeschreven werden en geen trendmatige invloed hadden. Figuur 15 geeft de uitkomsten voor tien peilbuizen nabij de winning Terwisscha, omgerekend naar een winning van 6.5 miljoen m³/j. Een benadering van de punten met de formule van Dupuit leverde een invloedsstraal op van



Figuur 15: Verlagingen op diverse afstanden van de winning op grond van tijdreeksanalyse door TNO (1991), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergeven. (De verticale schaal loopt iets verder door dan in de vorige figuren).

$$R = 7000 \text{ m} \tag{11}$$

TNO hield evenwel een slag om de arm, omdat het rekenschema van Dupuit geen rekening houdt met waterlopen. Waterlopen komen al veel dichter bij de winning voor. (Overigens zou dat betekenen dat de invloedsfeer zich feitelijk nog verder uitstrekt dan 7000 m).

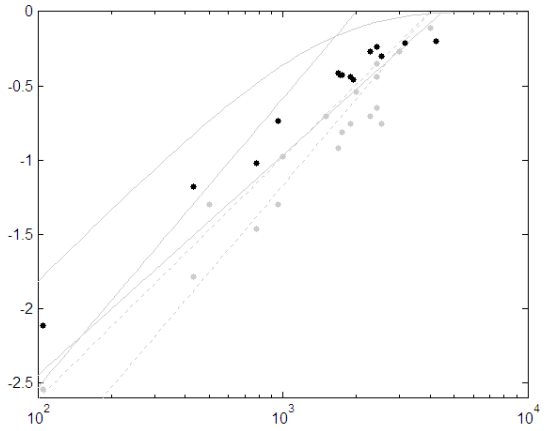
3.3.7 TCGB (1994)

"Naar aanleiding van ontvangen aanspraken op vergoeding van schade en verzoeken om onderzoek naar schade, welke gevolg zou zijn van de grondwaterwinning te Ooststellingwerf (Terwisscha) door de Waterleiding Friesland (WLF), is door de Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) en de Technische Commissie Grondwaterbeheer (TCGB) onderzoek verricht naar de omvang van de grondwaterstandsverlaging als gevolg van de onttrekking door het pompstation Terwisscha en de gevolgen hiervan voor de gewasopbrengst."

De commissie benadrukte dat er in het gebied veel meer zaken spelen dan alleen de winning Terwisscha. Ze voerde een inventarisatie uit van industriële winningen, beregening, waterbeheersingsmaatregelen en zandwinning. Omdat de uitkomsten van voorgaande onderzoeken onderling aanzienlijke leken te vertonen voerde de TCGB een eigen analyse uit van gemeten grondwaterstanden. Ze koos daarbij een ongebruikelijke methode: eerst werden de gemiddelde grondwaterstanden bepaald over een driejarige periode voorafgaande aan de winning (feitelijk 1961-1964, maar in die periode was de winningsomvang nog erg klein) in een groot aantal peilbuizen, waarvan een deel vrijwel zeker buiten de invloedssfeer van het pompstation stond. Vervolgens werden latere driejarige perioden gezocht waarin de peilbuizen die buiten de invloedssfeer stonden dezelfde gemiddelde grondwaterstanden lieten zien als in de vergelijkingsperiode. De redenering is eenvoudig: als er geen winning geweest zou zijn, zouden ook de peilbuizen die nu onder invloed van de winning staan dezelfde gemiddelde grondwaterstand gehad hebben als in de vergelijkingsperiode. Is de gemiddelde grondwaterstand nu lager, dan ligt dat aan de winning. Deze methode lijkt veel op een bekendere methode (door HKV de venstermethode genoemd) waarbij eveneens recentere en oudere grondwaterstanden met elkaar vergeleken worden. Bij de venstermethode is een harde eis dat de vergeleken perioden hetzelfde neerslagoverschot kenden. Het was gemakkelijk aan te tonen dat de vergelijkingsperioden van de TCGB niet aan die eis voldeden. Latere onderzoekers uitten dan ook felle kritiek. Ten onrechte. Een belangrijke aanname bij de venstermethode is dat de grondwaterstand niet door andere oorzaken gedaald is en dat de hydraulische

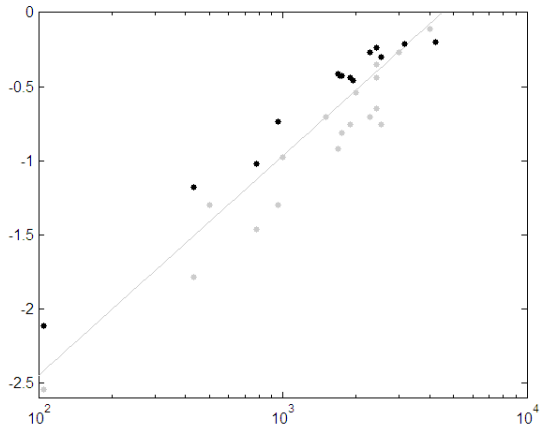
eigenschappen van het systeem niet gaandeweg veranderd zijn. In de omgeving van Terwisscha spelen beide aspecten: er zijn ruilverkavelingen geweest waarbij de ont- en afwatering verbeterd zijn en - mede daardoor - is de grondwaterstand in de wijde omgeving van Terwisscha geleidelijk gedaald. Uit het feit dat de vergelijkingsperioden van de TCGB duidelijk verschillende neerslagoverschotten te zien gaven blijkt dat zulke zaken een belangrijke rol speelden, zodat het juist de venstermethode is die niet toegepast kan worden. De methode van de TCGB is eerder een variant op de stambuismethode, waarbij het verloop van de grondwaterstand nabij een winning vergeleken wordt met het verloop in een vergelijkbare buis die niet door de winning beïnvloed kan zijn. Ook ten opzichte van die methode heeft hij echter een voordeel, omdat er niet één stambuis gekozen wordt - wat riskant is - maar een groot aantal.

De TCGB gaf resultaten voor verschillende driejarige perioden, voor zowel de winningsaquifer als voor het freatische grondwater. We geven hier de resultaten voor de winningsaquifer voor de periode 1987- t/m 1989, omgerekend naar 6.5 miljoen (figuur 16).



Figuur 16: Verlagingen op diverse afstanden van de winning op grond van een soort stambuisanalyse door TCGB (1994), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

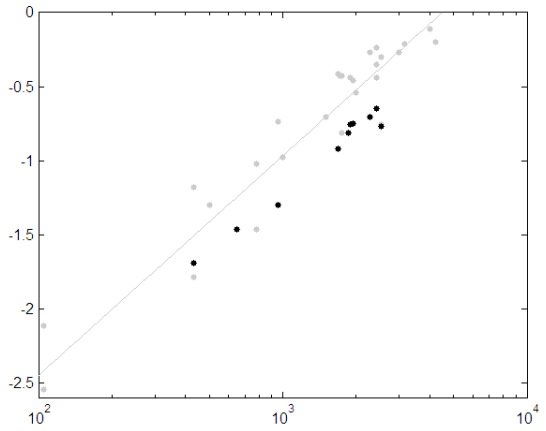
Het rapport concludeerde "dat de verlaging als gevolg van de onttrekking door het pompstation geringer is dan uit de (voorgaande) hydrologische onderzoeken is berekend". Dit is niet helemaal juist; De Vries schatte de verlagingen voor het winterhalfjaar nog kleiner in, en de bovengrens van het RID (met een invloedsstraal van 2000 m) ligt voor de meeste punten ook minder diep. In beide gevallen gaat het echter om inschattingen op basis van topkaarten, wat wezenlijk onzekerder is dan een analyse van werkelijke verlagingen. Het plaatje begint nu trouwens erg vol te raken. We drukken het daarom nog een keer af zonder de resultaten van RID (1955) en De Vries (1974) (figuur 17).



Figuur 17: Zelfde als figuur 16, maar zonder de resultaten van RID (1955) en De Vries (1974). (De resterende getrokken lijn is van IWACO (1988)).

3.3.8 TNO (1995)

De resultaten van TCGB (1994) dienden als grondslag voor een schaderegeling. Het opvallende verschil tussen de resultaten van TNO (1991) en TCGB (1994) verbaasde de landgebruikers die schadeklachten gedeponeerd hadden. Eén van hen liet het voor eigen rekening nog eens opnieuw uitzoeken door TNO, met vrijwel hetzelfde resultaat als in 1991 (TNO, 1995), zie figuur 18.



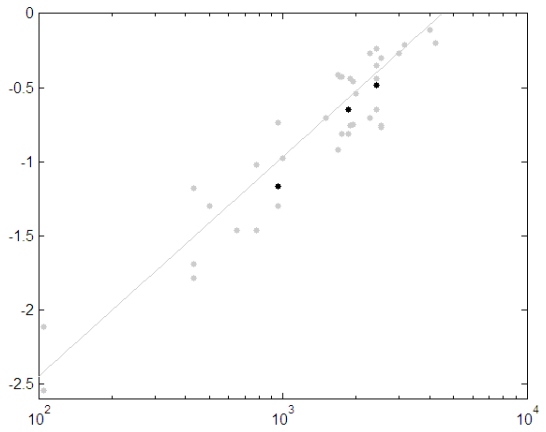
Figuur 18: Verlagingen op diverse afstanden van de winning op grond van tijdreeksanalyse door TNO (1995), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

TNO gaf ook een betrouwbaarheidsinterval aan, en was op grond daarvan zo voorzichtig om de stellen dat haar resultaat statistisch niet met zekerheid te onderscheiden was van de uitkomst van de TCGB. Niettemin was het instituut stellig in de uitspraak dat de verlagingen van de TCGB te klein waren. Het opperde wel allerlei mogelijke verklaringen voor het verschil (bijvoorbeeld dat de TCGB geen perioden met gelijk neerslagoverschot vergeleek) maar het bleef bij suggesties. Op het gegeven dat er ook andere oorzaken van grondwaterstandsdaling waren - zoals de TCGB zeer aannemelijk maakte - ging TNO niet in. Mede op grond van dit rapport werden uiteindelijk in de onderhandelingen de schadebedragen die door de TCGB voorgesteld waren vermenigvuldigd met een factor 1.635.

3.3.9 Kiwa (1995)

De N.V. Waterleiding Friesland verleende aan Kiwa opdracht om een verklaring te zoeken voor het verschil in uitkomsten. Het rapport behandelde de tegenstrijdige standpunten uiterst consciëntieus maar

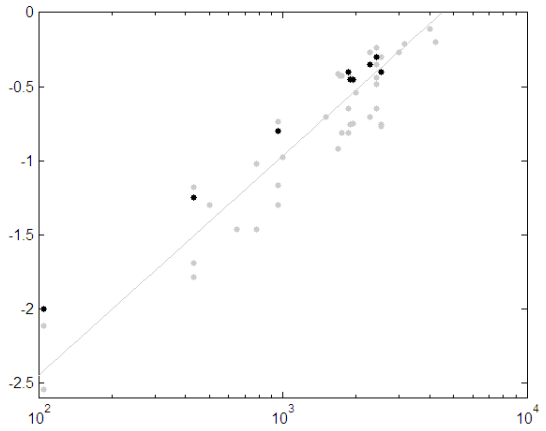
kon uiteindelijk toch niet tot een besluit komen. Ook Kiwa had kritiek op de methode van de TCGB. Door het verschil in neerslag te negeren zou de TCGB in een bepaalde buis een fout maken van 20 à 30 cm (wat in het licht van wat nog komen gaat een opvallend resultaat is). Als belangrijkste geschilpunt wees het de onzekerheid aan omtrent de bijdrage van andere actoren dan de waterwinning. Dat er andere actoren waren was wel zeker, maar hoe groot hun aandeel was viel volgens Kiwa niet te zeggen. Het instituut voerde zelf ook een tijdreeksanalyse uit, om uitkomsten te vinden die meer in de buurt van TNO liggen, maar dan voor slechts drie peilbuizen (figuur 19). Een opvallende conclusie van het rapport was dat een correctie van verlagingen in de winningsaquifer voor effecten van waterhuishoudkundige maatregelen niet te rechtvaardigen is. Hoewel het rapport meer kritiek had op de TCGB dan op TNO meende het dat een keuze tussen de twee altijd subjectief zou zijn.



Figuur 19: Verlagingen op diverse afstanden volgens Kiwa(1995), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

3.3.10 Witteveen + Bos (2005)

In 1995 werd een project Integraal Waterbeheer Terwisscha gestart, met als doel het herstellen van grondwaterafhankelijke natuurwaarden in "Nationaal Park Drents-Friese Wold". Participanten waren de provincies Frŷslan en Drenthe, Vitens Frŷslan, Staatsbosbeheer, Waterschap Reest & Wieden, Waterschap Sevenwolden, NLTO en de gemeente Ooststellingwerf. Nadat uit een systeemverkenning geconcludeerd was dat de achteruitgang van de natuur het gevolg was van verdroging door zowel landbouwdrainage als grondwaterwinning, gaf een stuurgroep in 2003 aan Witteveen + Bos opdracht om een hydrologische modelstudie naar alternatieve winlocaties uit te voeren. Het model werd gebouwd met MicroFem. In mei 2004 liet de landbouwer die al eerder TNO inschakelde de invloed van de winning ter plaatse van zijn percelen nog eens uitrekenen door Witteveen + Bos, bij een omvang van 7.5 miljoen m³/j. Toen die groter leek te zijn dan wat de TCGB ingeschat had, vormde dat voor 36 agrariërs aanleiding om GS van Friesland om een nieuw onderzoek door de CDG te vragen. Later sloten zich daar nog 13 anderen bij aan. De CDG liet het over aan de Dienst Landgelijk Gebied, die Witteveen+Bos verzocht de verlaging van de grondwaterstand ten gevolge van een winning van 6.5 miljoen m³/j uit te rekenen. Figuur 20 geeft het resultaat voor een aantal punten, ontleend aan het rapport van DLG (2005). (Witteveen + Bos rapporteerde in 2006). Aangezien de zwarte punten in deze grafiek naar verhouding bovenin de puntenwolk terechtkomen is niet direct duidelijk waar de onrust onder de agrariërs vandaan kwam. De resultaten stemmen juist goed overeen met die van de TCGB.



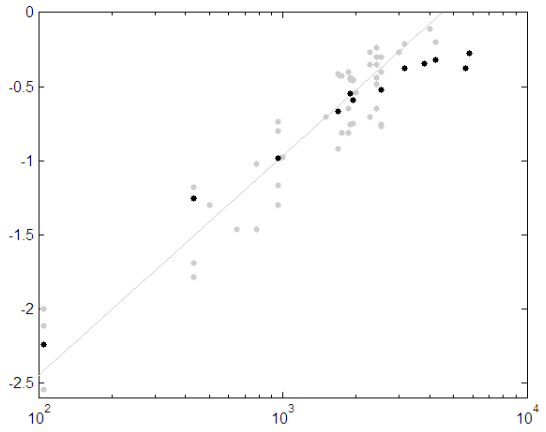
Figuur 20: Verlagingen op diverse afstanden volgens Witteveen + Bos (2006), maar ontleend aan DGL (2005). De uitkomsten waren al voor 6.5 miljoen m³/j en hoefden dus niet omgerekend te worden. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

3.3.11 Vitens (2007)

Om grip te krijgen op de "achtergrondverdroging" voerde Vitens een trendanalyse uit op een groot aantal peilbuizen die buiten de invloedssfeer van de winning stonden, over de periode 1961-1993. Het gebruikte daarvoor de waarnemingsreeksen zonder een vorm van bewerking. Vermoedelijk oordeelde het bedrijf dat meteorologische variaties over zo'n lange periode wel uitmiddelen. Het concludeerde dat

$$\text{Achtergrondverdroging} = 29.7\text{cm (1961-1993)} \qquad (12)$$

Dezelfde analyse werd uitgevoerd op peilbuizen die dichterbij de winning stonden (figuur 21). Hoewel hierbij natuurlijk methodologische kanttekeningen te plaatsen zijn vallen de punten niet erg uit de toon. In het licht van de claim dat de achtergrondverdroging 29.7 cm bedroeg is het inderdaad opmerkelijk dat de meest rechtse puntjes naar dat niveau toe lijken te gaan, zodat de verlagingskegel niet naar de nullijn lijkt te tenderen. Maar omdat de analyse wel erg basic was laten we het resultaat van Vitens verder buiten beschouwing.



Figuur 21: Verlaging op diverse afstand volgens Vitens (2007), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

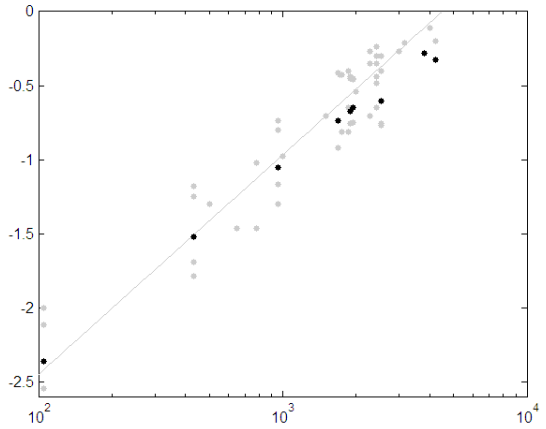
3.3.12 HKV (2008)

In mei 2006 bracht de CDG in een overleg tussen Vitens en de agrariërs een notitie in, waarin meerdere zaken aan de orde kwamen die van belang zijn voor een schaderegeling. De discussie over de

verlagingen was echter zo intensief dat andere inhoudelijke punten niet meer aan bod kwamen. Feitelijk was er sprake van een vertrouwensbreuk. We kennen van deze bijeenkomst geen verslag, maar een belangrijk discussiepunt was in hoeverre verlagingen van de grondwaterstand aan andere oorzaken toegeschreven moesten of konden worden. Een informele bemiddelingspoging door een Friese gedeputeerde leed schipbreuk, waarna in december 2006 de burgemeester van Ooststellingwerf zich opwierp als bemiddelaar. Hij liet zich vergezellen door de dijkgraaf van het waterschap Hunze en Aa's, prof. Van Hall. Ze stelden een review voor door een onafhankelijke deskundige, voor welke rol HKV_lijn_in_water werd aangezocht (een bureau dat goed is ingevoerd in de waterschapswereld, maar minder in de drinkwaterwereld). De expliciete vraag aan HKV was: *Is het, op basis van gegevens en uitgevoerde analyses, in alle redelijkheid te veronderstellen dat andere factoren dan de grondwateronttrekking van Terwisscha een significante grondwaterstanddaling hebben veroorzaakt?* De notie dat een daling van de grondwaterstand lang niet altijd schade meebrengt lijkt in de discussie geen rol gespeeld te hebben.

Het rapport van HKV (2008) leunde sterk op Kiwa (2005), inclusief enkele punten die daarin minder goed getroffen waren. Zo nam het daaruit het bezwaar tegen de methode van de TCGB over en het ging zelfs verder dan Kiwa door te stellen de "fout" die de TCGB maakte door geen rekening te houden met het meteorologisch verschil tussen de vergelijkingsperioden over de hele linie gemiddeld 30 cm bedroeg. HKV voerde ook zelf een tijdreeksanalyse uit op dezelfde reeksen als TNO (1991) met min of meer dezelfde uitkomsten (figuur 21). (Eén zeer afwijkend resultaat hebben we weggelaten, omdat we geconstateerd hebben dat de meetreeks corrupt was, helaas beyond repair.) Door een rechte lijn te fitten en de plaats te bepalen waar de nul-as gesneden werd kwam HKV net als TNO op een straal van het invloedsgebied van 7000 m, en bovendien op een kD -waarde:

$$R = 7000 \text{ m}$$
$$kD = 5100 \text{ m}^2/\text{d} \qquad (13)$$



Figuur 21: Verlagingen op diverse afstanden volgens HKV (2008), omgerekend naar een onttrekking van 6.5 miljoen m3/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.

HKV ontleende vertrouwen aan het feit dat de uitkomsten goed gefit konden worden met de formule van Dupuit, maar verzuimde om te vermelden dat zulks evengoed gold voor de resultaten van alle andere onderzoekers.

Voor de trendanalyse van Vitens kon het bureau weinig waardering opbrengen. Het voerde zelf opnieuw een trendanalyse uit op de buizen die Vitens gebruikte, maar over de periode 1962-1983, om tot een gemiddelde trend van - 20cm te komen, zodat

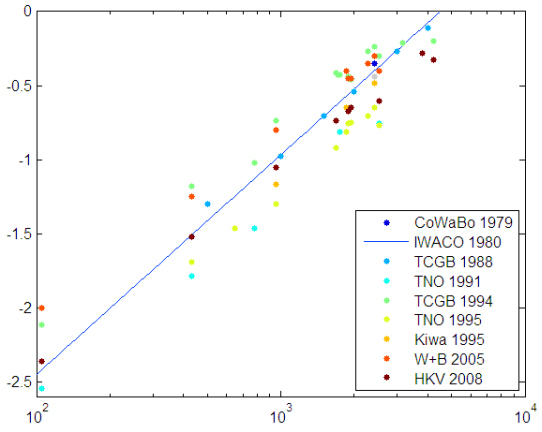
$$\text{Achtergrondverdroging} = 20\text{cm (1962-1983)} \qquad (14)$$

Als men aanneemt dat achtergrondverdroging een geleidelijk proces is zou men bij een vergelijking met Vitens rekening moeten houden met het verschil in lengte van de perioden waarover de trend bepaald

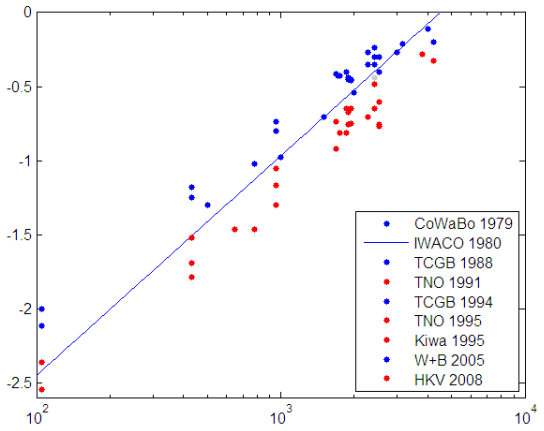
is. Doet men dat, dan komt het getal van HKV uit op 30.5 cm, wat toch wel heel dicht in de buurt van Vitens komt. HKV maakte die som echter niet en stelde de achtergrondverdroging op 20 cm zonder aan een periode te refereren. Ondanks deze uitkomst nam HKV de opvatting van Kiwa (2005) over dat er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen verlagingen veroorzaakt door waterwinning en door andere oorzaken. Het bureau stelde zelfs dat zulks wetenschappelijk onmogelijk is, om vervolgens niettemin de helft van de achtergrondverdroging (10 cm) aan Vitens toe te schrijven, op grond van het feit dat één buis, die heel ver weg stond, enige invloed van een Drents pompstation ondervond. De trendanalyse werd ook toegepast op enkele buizen die dichterbij de winning stonden, met een ander resultaat dan de eigen tijdreeksanalyse opleverde, maar daarop gaf het rapport verder geen commentaar. Van Kiwa (2005) nam HKV ook de opvallende stelling over dat waterhuishoudkundige maatregelen geen effect kunnen hebben op de stijghoogte in de winningsaquifer, wegens de aanwezigheid van keileem en potklei. Tegelijkertijd suggereerde het bureau dat onzekerheid over de verbreiding van deze kleilagen reden is om de verlagingen in de winningsaquifer wel één op één naar het freatische vlak door te vertalen. Hoewel uit de tekst van het rapport duidelijk blijkt dat de opstellers naar eer en geweten handelden moet geconcludeerd worden dat hun gebrek aan ervaring met het grondwatervak hen parten gespeeld heeft. Het is niet zo verwonderlijk dat het waterleidingbedrijf er inhoudelijk niet mee instemde, zodat ook deze bemiddelingspoging op niets uitliep.

3.4 Slot

Tot besluit van dit hoofdstuk drukken we alle resultaten nog eens af, nu in kleur en met een legenda (figuur 22). Op het eerste gezicht lijkt er weinig lijn in te ontdekken, maar dat wordt anders als we de resultaten die met tijdreeksanalyse behaald zijn scheiden van de rest (figuur 23). De tijdeeksanalisten kwamen consistent op grotere verlagingen uit dan de overige onderzoekers. Het ziet er dus naar uit dat we hier inderdaad een geval hebben waarin tijdreeksmodellen systematisch afwijken van andere modellen, inclusief grondwatermodellen, ook al bestaat er ook binnen de beide groepen variatie in uitkomsten. Het is wel aardig om te zien dat de getrokken lijn (IWACO 1988) de twee groepen vrijwel scheidt, maar dat moet toeval zijn.



Figuur 22: Samenvatting van alle uitkomsten (behalve RID (1955) en De Vries(1974) en Vitens (2007)).



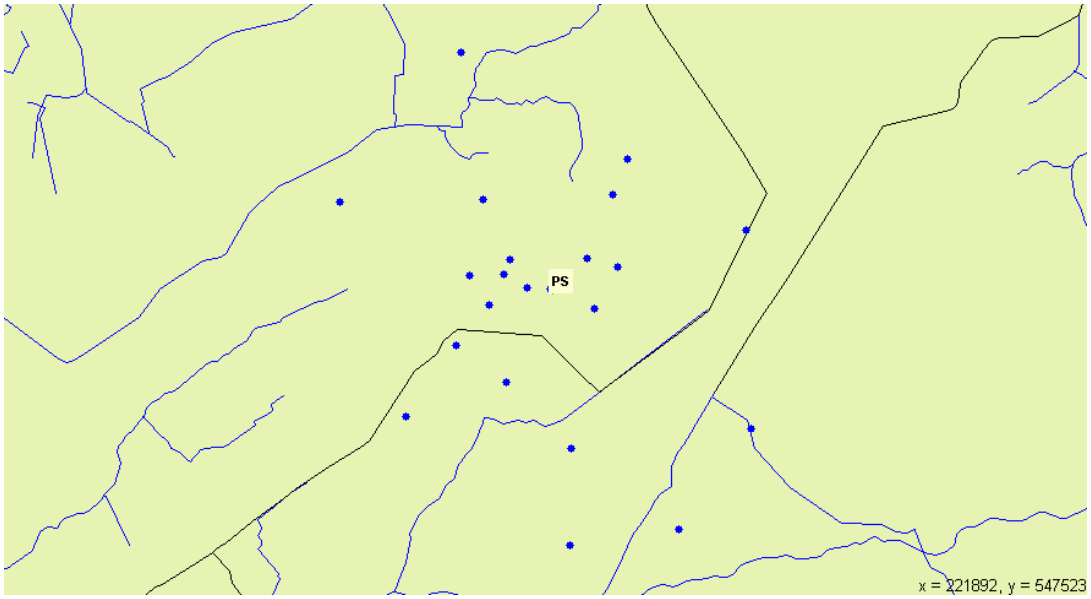
Figuur 23: De resultaten onderscheiden naar methode: de rode punten zijn verkregen met tijdreeksanalyse, de blauwe punten en de blauwe lijn met andere methoden.

Er is overigens ook nog een berekening gemaakt met het zogenaamde MIPWA-model, dat speciaal met het oog op dit soort bestuurlijke kwesties ontwikkeld wordt. De resultaten weken echter zo sterk af van alle overige uitkomsten dat we moeten concluderen dat MIPWA voor de omgeving van Terwisscha nog niet goed is afgeregeld. (We hebben de informatie over de MIPWA-berekening uit Van Bakel, 2009). We laten die resultaten verder buiten beschouwing.

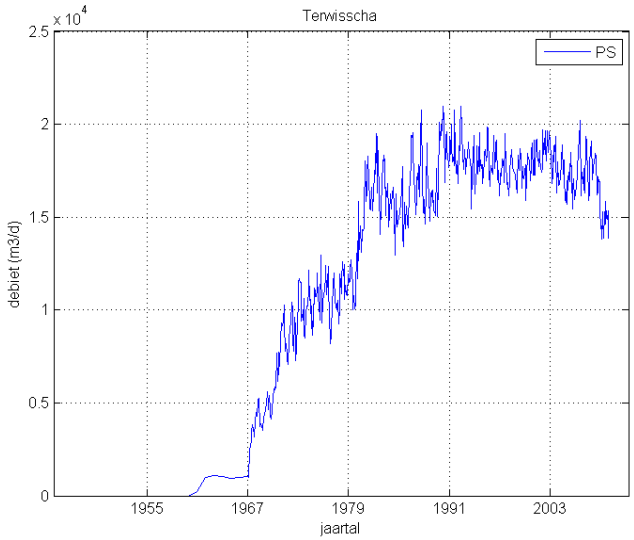
4 Synthese

4.1 Analyse

Om de verschillen in uitkomsten te verklaren zijn we teruggegaan naar de bron. We hebben de waarnemingsreeksen opgevraagd van alle peilbuizen in een vierkant met zijden van 20 km "rondom" het pompstation. Het bleken er 718 te zijn met gezamenlijk 1054 waarnemingsfilters. Daarvan waren er maar 23 met reeksen die ver genoeg teruggingen in de tijd om de onttrekkingsperiode ruimschoots te bestrijken. Hun verspreiding is weergegeven in figuur 24.



Figuur 24: Ligging van peilbuizen waarvan de waarnemingsreeksen lang genoeg waren om de onttrekkingsperiode ruimschoots te bestrijken. De verste buizen liggen ca 20 km uit elkaar.



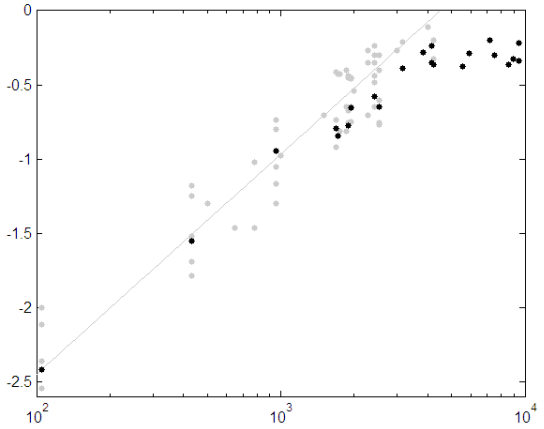
Figuur 25: Verloop van de onttrekking in de tijd.

Figuur 25 geeft het verloop van de onttrekking. Tot 1967 stelde hij qua omvang weinig voor; daarna liep hij geleidelijk op om omstreeks 1991 zijn maximale omvang te bereiken. Vanaf die tijd was hij min of meer stabiel, met helemaal aan het einde een lichte teruggang.

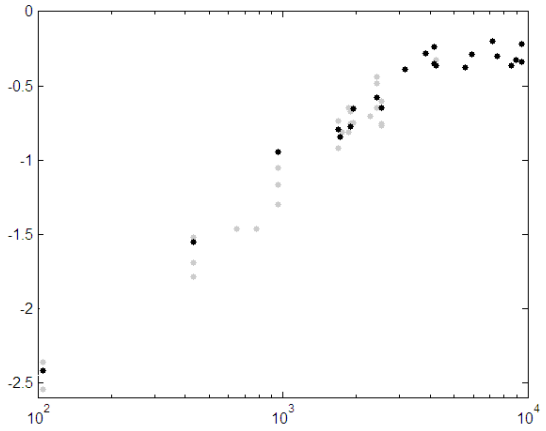
IWACO (1980) wees er al op dat de "voedende grens" (*R* uit de formule van Dupuit) bij een toenemende omvang van de winning verder weg zou kunnen komen te liggen. Als dat zo is zal de grondwaterstand in het Drents-Friese Wold tegenwoordig anders reageren op neerslag en verdamping dan vroeger. Er zijn nog meer redenen om te vermoeden dat de hydraulische eigenschappen van het systeem in de loop der jaren veranderd zijn. Met name zijn er veel verbeteringen aangebracht in het afwateringsstelsel, waardoor de intensiteit van het drainagepatroon veranderd is. Om wateroverlast te bestrijden is het grondwaterpeil omlaag gebracht, wat vermoedelijk ook invloed gehad heeft op de duur van de periode waarin sloten watervoerend zijn. Enkele oefeningen met tijdreeksmodellen over deelperioden toonden aan dat het systeem tegenwoordig inderdaad anders reageert op neerslag en verdamping dan vroeger. Zelfs tussen natte en droge jaren blijkt er een verschil in dynamiek te zijn, dus het systeem is ook van nature niet-lineair. Misschien zou het feit dat de tijdreeksmodellen van TNO (1991, 1995), Kiwa (1995) en HKV (2008) lineair waren een verklaring kunnen geven voor hun systematische verschil met de andere modellen?

We wilden in elk geval vermijden dat we dezelfde "fout" zouden maken. Daarom hebben we de periode 1963 - 1991 uit de waarnemingsreeksen verwijderd. Voor iedere buis hebben we de periode vóór 1963 en die ná 1991 afzonderlijk gemodelleerd met neerslag, verdamping en (na 1991) de onttrekking als verklarende factoren. Omdat de periode na 1991 een min of meer constant onttrekkingsniveau te zien geeft menen we ervan uit te mogen gaan dat eventuele niet-lineaire effecten van onttrekkingsvariaties in die periode gering geweest zullen zijn. Voor beide perioden hebben we voor iedere buis 30-jarige grondwaterstandsreeksen gesimuleerd (stochastisch, 1000 realisaties per reeks), zodat we voor de periode vóór en ná de "gap" goed vergelijkbare langjarig gemiddelde grondwaterstanden konden berekenen. Een sprong in de gemiddelde grondwaterstand vóór en ná de gap zou in elk geval niet aan toevallige weersomstandigheden geweten kunnen worden, maar aan de som van de winning en andere oorzaken. We hebben die andere oorzaken weliswaar niet als verklaring meegenomen, maar als we mogen aannemen dat hun effect in de periode na 1991 min of meer constant geweest is, dan komen ze in onze tijdreeksmodellen tot uiting in de hoogte van de drainagebasis.

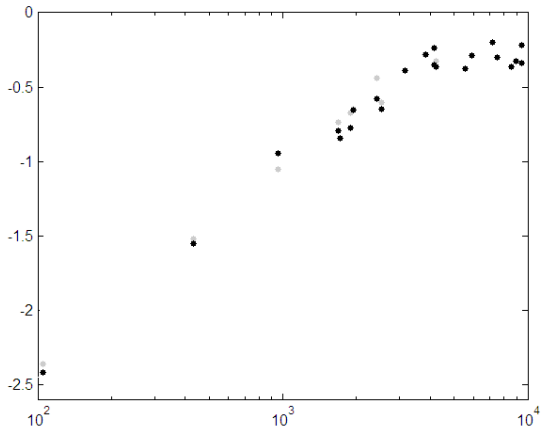
Figuur 26 toont de uitkomst. De zwarte puntjes geven dus de daling van de langjarig gemiddelde grondwaterstand weer over de periode 1963 - 1991, waarin de winning met ongeveer 6.5 miljoen m3/j toenam. De voorgaande resultaten zijn weer in grijs aangegeven. Figuur 27 toont hetzelfde, maar nu met alleen de resultaten van voorgaande tijdreeksanalisten op de achtergrond. Het blijkt dat onze uitkomsten zich daar redelijk in voegen, zij het dat ze aan de bovenkant van de wolk liggen. Feitelijk stemmen onze resultaten goed overeen met die van HKV (2008) (figuur 28).



Figuur 26: Verlagingen op diverse afstanden volgens onze analyse, voor een onttrekking van 6.5 miljoen m³/j. De voorgaande resultaten zijn grijs weergegeven.



Figuur 27: Zelfde als figuur 26, maar met alleen de resultaten van andere tijdreeksanalisten op de achtergrond.

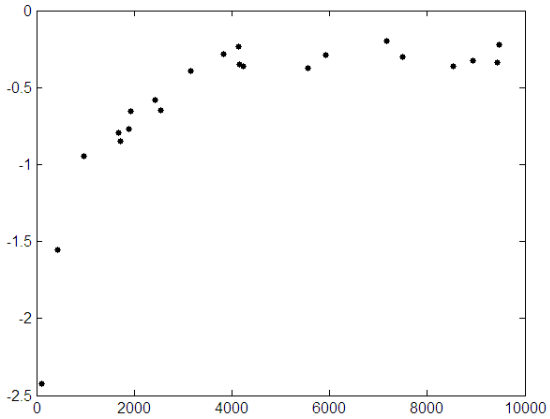


Figuur 28: Zelfde als figuur 27, maar met alleen de resultaten van HKV (2008) op de achtergrond.

Dit is natuurlijk goed nieuws voor tijdreeksanalisten: blijkbaar zijn lineaire modellen voor dit doel goed genoeg, zelfs in een systeem dat aantoonbaar veranderd is. Aan de andere kant is dit dus niet de verklaring voor het verschil tussen tijdreeksmodellen en andere modellen.

Toch biedt figuur 28 wel een sleutel: de punten die verder weg liggen - dat wil zeggen: buiten de invloedssfeer van de winning - blijven om een niveau van ca - 0.3 m schommelen. Dit wordt nog duidelijker als de resultaten op een lineaire schaal afgedrukt worden (figuur 29). Kennelijk is in de wijde omgeving de grondwaterstand in 30 jaar tijd ca 30 cm gedaald (wat overeenkomt met de trendanalyse van Vitens (2007) en feitelijk ook die van HKV (2008)). De spreiding van de punten rondom dit niveau hoeft geen verbazing te wekken, als men beseft dat punten die in de figuur vlak naast elkaar liggen in werkelijkheid ver van elkaar verwijderd kunnen zijn, tot 20 km toe. In feite is de spreiding trouwens minder groot, want een nadere analyse wijst uit dat de punten die relatief hoog liggen systematisch afkomstig zijn van buizen die zuidelijk van de winning staan, en andersom. Kennelijk is de "achtergrondverdroging" in het noorden wat groter en is ook de kegel een beetje asymmetrisch: hij helt enigszins naar het noorden, wat past bij de wetenschap dat de winningsaquifer daar afgedekt wordt door potklei.

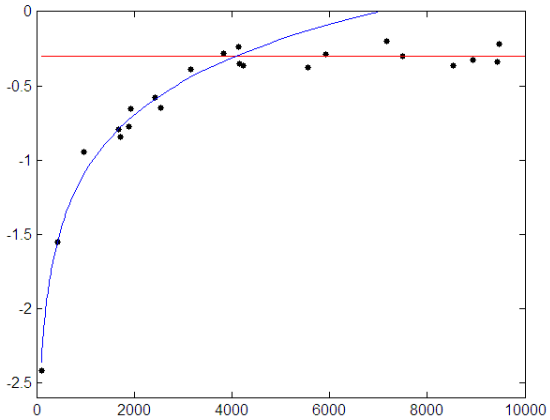
Als het klopt dat in de wijde omgeving van het Drents-Friese Wold de grondwaterstand gedaald is, dan is de grondwaterstand in het Drents-Friese Wold zelf meegedaald, want het gebied watert ondergronds af op de wijde omgeving.



Figuur 29: Onze resultaten op een lineaire schaal.

Om de invloed van de winning te vinden zouden we dus 30 cm moeten aftrekken van de verlagingen die we vonden, of anders: we moeten de verlaging meten ten opzichte van de rode lijn in figuur 30. In deze figuur hebben we ook de theoretische verlagingskegel volgens HKV (2008) ingetekend (blauwe lijn); dat is dus de formule van Dupuit met $kD = 5100$ m^2/d, $R = 7000$ m en $Q = 6.5$ miljoen m^3/j. De blauwe en de rode lijn snijden elkaar op

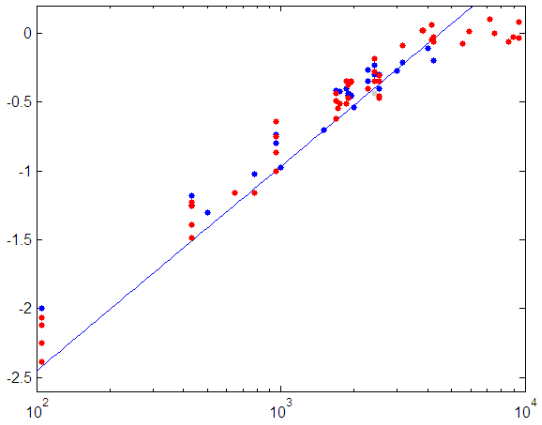
$$R = 4080 \text{ m} \tag{15}$$



Figuur 30: Onze resultaten op lineaire schaal, met ingetekend het niveau van de achtergrondverdroging (rood) en de theoretische verlagingskegel volgens HKV (2008).

Dit stemt heel goed overeen met de R-waarden die met andere methoden dan tijdreeksanalyse gevonden of geschat werden. Het ziet er dus naar uit dat we de verlagingen van alle tijdreeksanalisten met 30 cm moeten verminderen. Dat hebben we gedaan in figuur 31. Nu blijkt er inderdaad geen systematische verschil meer te zijn tussen de tijdreeksmodellen en de andere modellen: de rode punten beslaan dezelfde range als de blauwe. De getrokken blauwe lijn van IWACO (1980) lijkt wat te steil te lopen, wat duidt op een te lage kD-waarde. (IWACO hanteerde $kD = 4320$ m^2, op basis van een langdurige pompproef).

4.1.1 Correctie van de tijdreeksmodellen



Figuur 31: Dit is figuur 23, met alle rode punten 30 cm omhoog geschoven. (Sommige punten vallen over elkaar heen.)

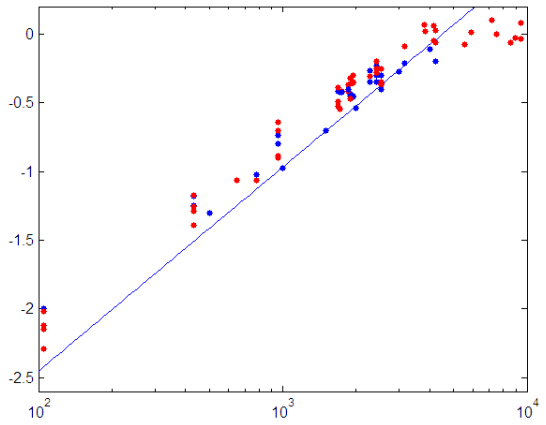
Maar dit is te kort door de bocht! In onze poging om de verschillende resultaten met elkaar vergelijkbaar te maken hebben we ze steeds vertaald naar een onttrekking van 6.5 miljoen m3/j, in de veronderstelling dat de verlaging evenredig is aan het debiet. Maar als de verlagingen voor een deel niet aan de onttrekking toe te schrijven zijn gaat dat niet op. Voordat we de verlagingen die volgens een bepaalde methode gevonden zijn opschalen naar een ander debiet moeten we corrigeren voor de achtergrondverdroging die over de analyseperiode is opgetreden; pas daarna kunnen we het debiet in rekening brengen.

Voorbeeld: TNO (1991) presenteerde zijn verlagingen voor een debiet van 6 miljoen m3/j, maar de analyse werd uitgevoerd over een periode waarin het debiet met 3.1 miljoen m^3/j toenam. De analyseperiode bedroeg 19 jaar, dus als de achtergrondverdroging op 1 cm/j gesteld mag worden (want we vonden 30 cm over 30 jaar) bevat de verlaging van TNO 19 cm achtergrondverdroging. De correctie wordt dus: eerst terugschalen naar 3.1e6, dan 19 cm ervan aftrekken, dan opschalen naar 6.5e6:

$$h = -(h*3.1/6-.19)*6.5/3.1 \qquad (16)$$

Een analoge correctie hebben we toegepast op de andere tijdreeksmodellen, met figuur 32 als resultaat.

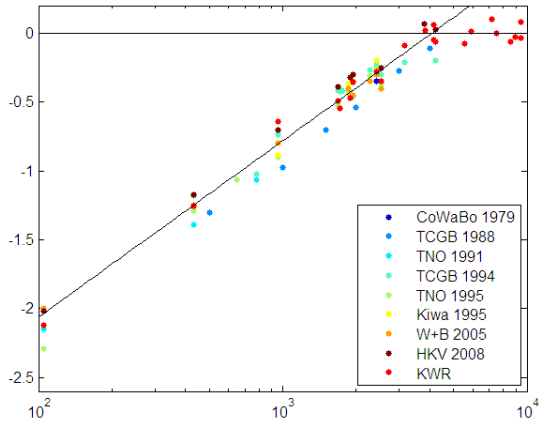
Appendix 1 geeft een overzicht van de verlagingen volgens de verschillende onderzoekers, met daarbij de omrekening die gebruikt is om figuur 32 te tekenen.



Figuur 32: Dit is een verbetering van figuur 31. De verbetering heeft betrekking op de rode puntjes, waarvoor de achtergrondverdroging op een nettere manier in rekening gebracht is.

4.1.2 Commentaar

Het verschil tussen de tijdreeksmodellen en de overigen is hiermee wel "verklaard", zodat het doel van dit onderzoek bereikt is. In figuur 33 drukken we nog eens de resultaten van de verschillende analyses af met een legenda. De getrokken lijn van IWACO (1980) hebben we weggelaten, omdat hij toch nog grotendeels op een inschatting op basis van topografie gebaseerd was. Daarvoor in de plaats hebben we een nieuwe getrokken lijn toegevoegd, eveneens op basis van de formule Dupuit, maar met kD =5100 m²/d en R =4080 m. (In werkelijkheid kan een verlagingskegel natuurlijk niet abrupt ophouden. Omstreeks 4080 m moet de schuine lijn geleidelijk overgaan in de horizontale.)



Figuur 33: Dit is figuur 32 met toevoeging van een legenda. De getrokken lijn van IWACO (1980) is weggelaten; daarvoor in de plaats is de theoretische verlagingskegel volgens Dupuit gekomen met kD = 5100 m²/d en R = 4080 m.

Hoe kon het dat de tijdreeksanalisten de achtergrondverdroging over het hoofd zagen? De verklaring moet zijn dat zij hun analyses uitvoerden over een periode waarin de winning geleidelijk in omvang toenam. Als achtergrondverdroging eveneens een geleidelijk proces is, correleren deze twee invloedsfactoren, waardoor de winning tevens de achtergrondverdroging voor zijn rekening kan nemen. In zo'n geval kan een tijdreeksmodel alle statistische toetsen doorstaan zonder dat er een lampje oplicht.

Het moet gezegd worden dat HKV (2008) wel de mogelijkheid onder ogen zag dat zijn tijdreeksanalyse door het missen van andere effecten dan de winning verstoord zou kunnen zijn. Het bureau voerde zelfs

een uitgebreide inventarisatie uit van mogelijke oorzaken van achtergrondverdroging, maar het redeneerde dat gemiste oorzaken herkenbaar zouden moeten zijn in de residureeks. Dit is natuurlijk niet het geval als achtergrondverdroging een geleidelijk en gebiedsdekkend proces is waaraan tal van oorzaken bijdragen.

5 Generalisatie

Zoals we al vermeldden vond Vitens (2007) met een trendanalyse over de periode 1963-1992 buiten de invloedssfeer van de winning een daling van 29.7 cm , wat goed met ons eigen resultaat overeenstemt. HKV (2008) vond over de periode 1962-1983 een daling van 20 cm, wat omgerekend naar 30 jaar 27.6 cm oplevert. Volgens verslagen van het overleg tussen Vitens en vertegenwoordigers van de landbouwers schatte de CDG de verlaging op 28 cm, al is niet geheel duidelijk over welke periode dat getal genomen moet worden. Al met al concluderen we dat de verschillende onderzoekers wat betreft de grootte van de achtergrondverdroging in de wijdere omgeving van Terwisscha op één lijn zitten.

Hebben we hier nu te maken met een incident of met een exemplaar? We verwachten dat de "fout" die in Terwisscha gemaakt is overal kan optreden waar achtergrondverdroging voorkomt. Hoe is dat in de rest van Nederland?

In het kader van een grootscheeps landelijk onderzoek naar de verdroging van natuur en landschap in Nederland stelde de Dienst Grondwaterkenning TNO op basis van tijdreeksanalyse vast dat sinds de jaren '50 heel Nederland droger geworden is. Slechts in uitzonderingsgevallen was er geen daling opgetreden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). In de periode 1950-1986 waren ruilverkavelingen goed voor gemiddeld 35 cm. Afgezien van dalingen die toegewezen konden worden aan bekende oorzaken was er nog een onverklaarde component van gemiddeld ca 20 cm. In aanmerking genomen dat we in de omgeving van Terwisscha ruilverkavelingen onder de oorzaken van achtergrondverdroging geschaard hebben is ons resultaat van 30 cm in 30 jaar landelijke gezien aan de bescheiden kant. Onze analyse-periode viel echter later; mogelijk neemt de daalsnelheid van de grondwaterspiegel in de loop der tijd af.

In een onderzoek naar de grondwatersituatie in Drenthe vond TNO (1991b) dat de grondwaterstand buiten het gebied met grootschalige grondwaterwinning tussen 1955 en 1985 ca 40 cm daalde. Ook ten opzichte van dit getal is 30 cm over een even lange (maar wat recentere periode) aan de lage kant.

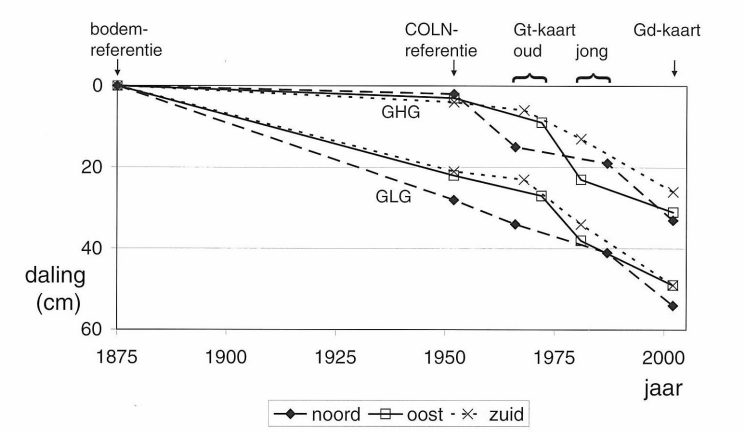
Knotters en Jansen (2005) publiceerden in Stromingen een artikel "Honderd jaar verdroging in kaart". Zij onderzochten ruwweg de oostelijke helft van Nederland. Daarbinnen onderscheidden zij drie grote aaneengesloten zandgebieden, toepasselijk noordelijk, oostelijk en zuidelijk zandgebied genoemd (figuur 34).



Figuur 34: ligging van het noordelijk, oostelijk en zuidelijk zandgebied (Knotters en Jansen, 2005).

Figuur 35 geeft voor deze gebieden de daling van de GHG en de GLG die door de auteurs werd vastgesteld, sinds 1875. Het blijkt dat tot ca 1950 vooral de GLG daalde; vanaf dat jaar dalen GLG en GHG vrijwel even snel. Dit verschil in daalgedrag heeft natuurlijk te maken met de bijzondere definitie van GHG: dat is het gemiddelde over minstens acht jaar van de drie hoogste grondwaterstanden die in ieder van die jaren jaar gemeten zijn (bij een waarnemingsfrequentie van tweemaal per maand). Zolang

er in een gebied nog sprake was van wateroverlast zal de GHG nabij het maaiveld gelegen hebben. Knotters en Jansen schatten voor het noordelijk zandgebied de daalsnelheid wat lager in dan wij voor de omgeving van Terwisscha vonden - en dus duidelijk lager dan TNO - maar de tendens is duidelijk: het verschijnsel treedt overal op.



Figuur 35: Daling van de GHG en de GLG in drie verschillende zandregio's (Knotters en Jansen, 2005).

We concluderen dat achtergrondverdroging in elk geval in de oostelijke helft van Nederland een verklaring kan zijn voor een verschil in resultaten tussen tijdreeksmodellen en andere modellen. Wellicht speelt het probleem ook in de rest van Nederland, maar we daar hebben we geen gegevens over de grootte van de achtergrondverdroging.

6 Aanbevelingen

Hoe kan deze fout in de toekomst voorkomen worden? Een belangrijke voorwaarde is dat tijdreeksanalisten zich van deze valkuil bewust worden. We bevelen daarom aan om er in vakkringen bekendheid aan te geven, bijvoorbeeld door een artikel in Stromingen.

Omdat de oorzaken van achtergrondverdroging in het algemeen slecht gedocumenteerd zijn, is het lastig om er tijdens een tijdreeksanalyse expliciet rekening mee te houden. In alle gevallen waarin een verklarende reeks (neerslag, verdamping, waterwinning, oppervlaktewater) een geleidelijk stijging of daling te zien geeft kan achtergrondverdroging de resultaten verknoeien. Omdat een tijdreeksmodel een gemiste trend probeert toe te schrijven aan één of meer van de verklarende reeksen die door de tijdreeksanalist wel geïdentificeerd werden, kan soms aan de resultaten een vermoeden ontleend worden. Mogelijke indicaties zijn: een onwaarschijnlijk grote invloed van de neerslag, een onwaarschijnlijke waarde van de verdampingsfactor en een onwaarschijnlijke waarde van de drainagebasis. Telkens als men zoiets tegenkomt moet men bedacht zijn op een gemiste trend. In KWR (2010) wordt aangetoond dat gemiste trends ook aanleiding kunnen geven tot langjarige schommelingen van de residureeks. Dat kan dus ook een aanwijzing zijn.

Als al deze zaken wél in de orde van de verwachting liggen is helaas nog steeds niet zeker dat er geen trend gemist is. Aan de resultaten voor een winning valt überhaupt weinig verdachts te zien; Terwisscha is daarvan een sprekend voorbeeld. Daar ontdekten we de aanwezigheid van achtergrondverdroging door in de analyse ook reeksen mee te nemen die buiten de invloedssfeer van de winning stonden. Het bleek een afdoende middel te zijn, dus daar maken we ook een aanbeveling van.

Als niets houvast geeft is het verstandig om minstens in de Nederlandse zandgebieden rekening te houden met een trend overeenkomstig de bevindingen van Knotters en Jansen (2005) en af te tasten of de uitkomsten daarvoor gevoelig zijn.

7 Referenties

RID, 1955: Rapport inzake de te verwachten verlaging van de grondwaterstand onder invloed van de waterwinning in de zandduinen te Appelscha door de N.V. Intercommunale Waterleiding Gebied Leeuwarden. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, s'Gravenhage.

J.J. de Vries, 1974: Enkele hydrologische beschouwingen in verband met de uitbreiding van de waterwinning.

CoWaBo, 1979: Onderzoek naar de oorzaak van de opgetreden grondwaterstandsverlaging op de percelen van de heer T. Ausma.

IWACO, 1980. Geohydrologisch onderzoek naar de invloed van de grondwaterwinning op de grondwaterstanden tengevolge van de huidige en uit te breiden winning van het pompstation Terwisscha. Rapport 547. Iwaco B.V., Rotterdam.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989: Verlaging van de grondwaterstand in Nederland, Analyse periode 1950-1986.

TCGB, 1994. Schadeonderzoek Wateronttrekking Ooststellingwerf (Terwisscha). Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Utrecht.

TNO, 1991: Optimalisatie van de grondwaterstandsmeetnetten rond de pompstations in Friesland. Rapport OS 91-22-A, TNO-Milieu en Energie, Delft.

TNO, 1991b: Grondwatersituatie Drenthe. Een onderzoek naar de kwelsituatie, de trends in de grondwaterstand en de mogelijkheden om de situatie te beïnvloeden. TNO-Milieu en Energie, Instituut voor Grondwater en Geo-Energie (IGG), Oosterwolde.

TNO, 1995. Nadere analyse van de verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de winning Terwisscha in de omgeving van het bedrijf van de heer Weinans, Elsloo. Rapport OS 95-08B. TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Kiwa, 1995. Waarom verschillen de door TCGB en TNO geschatte effecten van de winning Terwisscha (WLF) op de stijghoogten? KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.

Witteveen + Bos, 2003: Hydrologische modelstudies alternatieve winlocaties Terwisscha, Witteveen + Bos, LW 133-1/seew/009.

Knotters, M. en P. Jansen, 2005: Honderd jaar verdroging in kaart, Stromingen 11(4) 5-18.

DLG, 2005: Waterwinning Terwisscha. Hydrologische onderzoek 2005. Evalutatie van eerder hydrologische onderzoek en advies meest aannemelijk verlagingspatroon, DLG, Assen.

Witteveen en Bos, 2006: Toetsing grondwaterstanden grondwaterwinning pompstation Terwisscha.

Vitens, 2007: Bepaling achtergrondverdroging Terwisscha.

HKV, 2008: Review grondwaterdaling als gevolg van drinkwaterwinning inTerwisscha, HKV Lijn in water.

Bakel, J. van, 2009. Bevindingenrapport van onderzoek naar methoden van bepalen van verlagingsbeelden van de waterwinning Terwisscha (Fr).

KWR, 2010: Langjarige fluctuaties in residureeksen van tijdreeksmodellen van grondwaterstandsflucutaties, BTO 2010.051(s)

I Appendix

Resultaten van verschillende onderzoekers.

RID (1955)
Analytisch, kD = 3550 m²/d, R = 2000 à 4000 m
Geen correctie voor achtergrondverdroging nodig.

De Vries (1974)
Analytisch, kD = 4000; m²/d, R = 3000 m
Geen correctie voor achtergrondverdroging nodig.

Cowabo (1979)
Analytisch, kD = 3550 m²/d, R = 4200 m
(In feite wordt de eerste 6 jaar van de winning met R = 3750 m gerekend).
De berekening is alleen uitgevoerd voor peilbuis 19.
Geen correctie voor achtergrondverdroging nodig.

IWACO (1980)
Analytisch, kD = 4400 m²/d, R = 4500 m
Geen correctie voor achtergrondverdroging nodig.

TCGB (1988)
Geen rapport beschikbaar, dus uit de tweede hand (TCGB 1994).
Berekening met STATRECT, Q =6e6 m³/j.

verlaging	afstand
1.2	500
0.9	1000
.65	1500
.5	2000
NaN	2500
.25	3000
.1	4000

Omrekening: $-h \times 6.5/6$. Geen correctie voor achtergrondverdroging nodig.

TNO (1991)
1971-1989 dus 19 jaar
Q = (6.2-3.1)e6 = 3.1e6 m3/j
Verlagingen zijn voor 6e6 m3/j

naam	verlaging	afstand
16	.75	1750
17	.7	1894
18	.65	2275
19	.6	2421
21	1.2	961
22	NaN	1938
32	2.35	105
33	1.65	433
34	.85	1689
35	.7	2537
69	1.35	784

Omrekening: $h = -(h \times 3.1/6 - .19) \times 6.5/3.1$
Toelichting:

TNO presenteerde zijn verlagingen voor een debiet van 6 miljoen m3/j, maar de analyse werd uitgevoerd over een periode waarin het debiet met 3.1 miljoen m^3/j toenam. De analyseperiode bedroeg 19 jaar, dus als de achtergrondverdroging op 1 cm/j gesteld mag worden bevat de verlaging van TNO 19 cm achtergrondverdroging. Dus: eerste terugschalen naar 3.1e6. Dan 19 cm ervan aftrekken. Dan opschalen naar 6.5e6.

TCGB (1994)
Diepste filters:
Q = (6.2 - 0.4)e6 = 5.8e6

naam	verlaging	afstand
16	.38	1750
17	.39	1894
18	.24	2275
19	.21	2421
20	.19	3157
21	.66	961
22	.41	1938
30	.38	1712
32	1.89	105
33	1.05	433
34	.37	1689
35	.27	2537
36	.18	4240
69	.91	784

Omrekening: $-h \times 6.5/5.8$

TNO (1995)
Herhaling van TNO 1991; enkele aanpassingen.
TRA, 1971-1989, dus 19 jaar
Q = 3.1e6m3/j
Verlagingen afgelezen uit grafiek in het rapport.

naam	verlaging	afstand
32	2.48	105
33	1.56	433
39?	1.35	650
21	1.20	961
34	0.85	1689
16	0.75	1850
17	0.70	1894
22	0.69	1938
18	0.65	2275
19	0.60	2421
35	0.71	2537

Omrekening: $h = -(h \times 3.1/6 - .19) \times 6.5/3.1$

Kiwa (1995)
Q = 5.8e6m3/j
1971-1994, dus 25 jaar

naam	verlaging	afstand
21	1.04	961
16	.58	1850
19	.43	2421

Omrekening: $-(h - .25) \times 6.5/5.8$

Witteveen + Bos (2006, overgenomen uit DLG 2005)

naam	verlaging	afstand
35	.4	2537
16	.4	1850
17	.45	1894
18	.35	2275
19	.3	2421
21	.8	961
22	.45	1938
32	2.0	105
33	1.25	433

Vitens (2007)
1962-1963 dus 31 jaar
De verschilmethode geeft winning + av, dus alleen corrigeren voor debiet.
Q = 5.8e6

naam	verlaging	afstand
32	2.71	105
33	1.51	433
21	1.21	961
34	.81	1689
22	.71	1938
17	.66	1894
19	1.15 ??	2421
35	.63	2537
20	.45	3157
13	.41	3800?
36	.38	4240
37	.45	5600?
14	.33	5800?

Omrekening: $-(h-.33)\times 6.5/5.9+.30$

HKV (2008)
TRA, 1960-1994, dus 35 jaar
Q = 5.8e6m3/j
dat zegt HKV tenminste, maar tussen 1960 en 1994 nam de winning toe tot 6.5e6 m3/j. Blijkbaar heeft HKV teruggeschaald naar 5.8, en daarmee ook de av meegeschaald. Om terug te rekenen naar 6.5e6 hoef ik dus alleen te vermenigvuldigen met 6.5/5.8.
maar ik moet wel 35 cm av in rekening brengen.

Alleen 2e filter (deed HKV ook):

naam	verlaging	afstand
17	.6	1894
19	.91	2421
21	.94	961
22	.58	1938
36	.29	4240
13	.25	3800?
32	2.11	105
33	1.36	433
34	.66	1689
35	.54	2537

Omrekening: $h=-h\times 6.5/5.8+.35$

Eigen uitkomsten (2011)
Diepste filter
Combinatie van TRA en vergelijking van twee perioden, 1962-1991, Q = 6.5e6 m^3/j

naam	verlaging	afstand
17	.77	1894
19	.58	2421
21	.94	961
22	.65	1934
32	2.42	104
33	1.55	433
34	.79	1689
35	.65	2537
13	.28	3820
28	.36	8533
20	.39	3157
30	.84	1712
36	.36	4240
37	.38	5564
38	.34	9432
261	.24	4146
156	.30	7499
4	.35	4155
5	.20	7179
8	.22	9476
14	.29	5921
30	.33	8936

Omrekening: alleen achtergrondverdroging erbij optellen: $-h+.3$



Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl