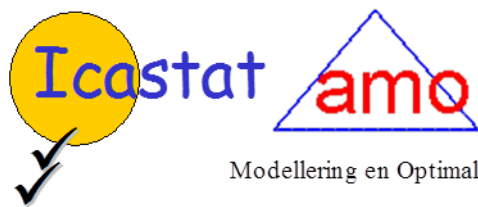


Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen



Modellering en Optimalisatie

Adviesburo Harry Boukes



Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen

Aanvrager:

Provincie Overijssel (briefkenmerk 2014/0073416)

Auteurs:

drs. Paul K. Baggelaar (*Icastat*)

ir. Eit C.J. van der Meulen (*AMO*)

Harry Boukes (Adviesburo Harry Boukes)

10 september 2015



Niagara 18
1186 JP AMSTELVEEN
Tel.: 020 641 52 11
paul.baggelaar@planet.nl

INHOUD

SAMENVATTING	2
1 INLEIDING	5
1.1 VRAAGSTELLING PROVINCIE OVERIJSSSEL.....	5
1.2 DOELSTELLINGEN VAN DEZE STUDIE	5
1.3 BESCHOUWDE DRINKWATERWINNINGEN	6
1.4 VERWANTE STUDIES.....	7
1.5 OVER DIT RAPPORT.....	8
2 BEOORDELEN BESCHIKBARE VERLAGINGSBEELDEN.....	10
2.1 REEDS BESCHIKBARE VERLAGINGSBEELDEN	10
2.1.1 <i>Boerhaar</i>	11
2.1.2 <i>Brucht</i>	19
2.1.3 <i>Hammerflier</i>	24
2.1.4 <i>Losser</i>	29
2.1.5 <i>Manderveen en Manderheide</i>	33
2.1.6 <i>Rodenmors</i>	38
2.2 BESCHIKBAAR GESTELDE VERLAGINGSBEELDEN	43
2.3 VERGELIJKEN VAN STATISTISCHE KENMERKEN VAN DE VERLAGINGSBEELDEN.....	43
2.4 OVER HET GEBRUIKEN VAN EEN AFGELEID STATIONAIR VERLAGINGSBEELD	47
3 BEOORDELEN HAALBAARHEID VERLAGINGSBEELDEN	50
3.1 METHODE VAN BEOORDELEN	50
3.1.1 <i>Keuze voor empirische aanpak bij het beoordelen</i>	50
3.1.2 <i>Stappen van de empirische aanpak</i>	50
3.2 VERZAMELDE GEGEVENS VOOR DE EMPIRISCHE AANPAK.....	53
3.3 OORDEEL OVER HAALBAARHEID VERLAGINGSBEELD PER WINNING	54
AANGEHAALDE LITERATUUR	59
BIJLAGE 1: RESULTATEN EMPIRISCHE AANPAK PER DRINKWATERWINNING	61
BIJLAGE 2 – GEGEVENS VAN REEDS AFGELEIDE VERLAGINGSBEELDEN (DIGITAAL).....	110

Samenvatting

Van een aantal Overijsselse drinkwaterwinningen is een stationair verlagingsbeeld beschikbaar, dat is afgeleid met tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen. Het betreft een grootschalig ruimtelijk beeld van de stationaire verlaging van de grondwaterstand door de winning, dat op statistische wijze is gefilterd uit een groot aantal langjarige grondwaterstandreeksen, die zijn gemeten in peilfilters rond de winning. Op verzoek van Provincie Overijssel en Vitens is in deze studie voor zes Overijsselse drinkwaterwinningen waarvan een dergelijk verlagingsbeeld beschikbaar is, een oordeel gegeven over dat beeld en over de mogelijkheid het te gebruiken als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel. Daarnaast is voor 16 andere Overijsselse drinkwaterwinningen beoordeeld of de historische ontwikkelingen en de daarover beschikbare gegevens het mogelijk maken om een dergelijk verlagingsbeeld af te leiden en is beoordeeld over de mogelijkheid het te gebruiken als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel.

Oordelen over de beschikbare stationaire verlagingsbeelden

Van de 21 nog actieve Overijsselse drinkwaterwinningen zijn er vijf waarvoor reeds verlagingsbeelden zijn afgeleid met tijdreeksanalyse, namelijk Boerhaar, Hammerflie, Losser, Manderveen (met Manderheide) en Rodenmors. Verder is op verzoek van de opdrachtgever ook het verlagingsbeeld beoordeeld van de in januari 2006 gestopte winning Brucht.

De verlagingsbeelden van de winningen Boerhaar, Brucht, Hammerflie en Rodenmors zijn in principe bruikbaar te achten als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel. Er is daar namelijk sprake van duidelijke verlagingskegels, met ook een goede ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters. Voor elk van deze winningen is de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden vooralsnog ook hoog te achten, aangezien er sprake is van een eenvoudige bodemopbouw. Er zal bij het valideren of iken wel op passende wijze rekening moeten worden gehouden met de specifieke wijze waarop het verlagingsbeeld is afgeleid en met de mate waarin daarbij bijzondere omstandigheden – zoals compenserende wateraanvoer, of een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning - in de tijdreeksmodellen konden worden opgenomen.

We hebben enkele verkennende exercities gedaan, waarbij de met tijdreeksanalyse afgeleide verlagingsbeelden van de winningen Boerhaar, Brucht, Hammerflie en Rodenmors zijn vertaald naar bodemparameters met MLU, een programma voor analytische modellering van een pomp-proef in een meerlagensysteem. Voor Brucht en Hammerflie leverde dit al bemoedigende resultaten op, die uitnodigen om in een numeriek grondwatermodel verdere detailleringen toe te passen en zo te bezien of nog betere schattingen van bodemparameters kunnen worden verkregen. Voor Boerhaar en Rodenmors bleek het niet mogelijk om louter uit deze verkennende analytische exercitie te concluderen of het verlagingsbeeld al of niet geschikt is als ijkset.

Voor de winning Losser hebben verschillende studies slechts gefragmenteerde beelden opgeleverd van de invloeden van de drie diepe deelwinningen op de grondwaterstand. Deze beelden lenen zich in beperkte mate voor het valideren of iken van een grondwatermodel. De potentie van het afgeleide stationaire verlagingsbeeld als validatie- of ijkset is daardoor matig. Aangezien er sprake is van een zeer complexe geologische opbouw van de ondergrond, moet ook sterk worden betwijfeld of de situatie kan worden beschreven met een grondwatermodel. De potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is daarom laag.

Het verlagingsbeeld dat is gereconstrueerd voor de winning Manderveen achten wij niet voldoende geschikt als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel, aangezien niet goed werd voldaan aan de voorwaarden om met tijdreeksmodellering het effect van de winning op de grondwaterstand betrouwbaar vast te kunnen stellen.

Mogelijkheden voor stationaire verlagingsbeelden bij andere Overijsselse drinkwaterwinningen

Voor de 16 overige Overijsselse drinkwaterwinningen is geen met tijdreeksanalyse afgeleid verlagingsbeeld beschikbaar. Om te kunnen beoordelen of de historische ontwikkelingen van de grondwaterwinning en de gegevens daarover geschikt zijn om een verlagingsbeeld af te leiden, is voor elke meetreeks van de grondwaterstand die daarvoor voldoende metingen bevat, bepaald wat het gemiddelde verschil is tussen twee perioden met duidelijk verschillende onttrekkingsniveaus. Als blijkt dat dit leidt tot een ruimtelijk duidelijk onderscheidbare verlagingskegel en als er ook voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan de haalbaarheid hoog worden geacht om met tijdreeksanalyse een stationair verlagingsbeeld af te leiden.

Onderstaande tabel vermeldt voor elk van de 22 beschouwde drinkwaterwinningen de oordelen over: i) de haalbaarheid van het afleiden van een stationair verlagingsbeeld, ii) de potentie van dat beeld als validatie- of ijkset en iii) de potentie om met dat beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden.

Winning	Haalbaarheid afleiden stationair verlagingsbeeld	Potentie als validatie- of ijkset	Potentie afleiden betrouwbare bodemparameters
Archemerberg	Hoog	Midden	Laag
Boerhaar	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Brucht	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Ceintuurbaan	Laag	Laag	Laag
Diepenveen	Midden	Midden	Midden
Engelse werk	Laag	Laag	Laag
Espelo	Laag	Laag	Laag
Goor	Hoog	Hoog	Hoog
Hammerflir	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Hasselo	Hoog	Hoog	Hoog
Herikerberg	Hoog	Hoog	Midden
Hoge Hexel	Laag	Laag	Laag
Holten	Laag	Laag	Laag
Lemselo	Laag	Laag	Laag
Losser	Beeld beschikbaar	Midden	Laag
Manderveen	Beeld beschikbaar	Laag	Laag
Nijverdal	Hoog	Hoog	Midden
Rodenmors	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
St. Jansklooster	Laag	Laag	Laag
Wierden	Hoog	Hoog	Hoog
Witharen	Hoog	Hoog	Hoog
Zutphenseweg	Midden	Midden	Midden

Klasse	Aantal	Aantal	Aantal
Laag	7	8	10
Midden	2	4	4
Hoog	7	10	8
Beeld beschikbaar	6		

Van de 16 drinkwaterwinningen waar geen stationair verlagingsbeeld van beschikbaar is, zijn er zeven waar de haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld hoog is en twee waar die matig is ('midden'). Voor zeven winningen is de haalbaarheid laag.

Er zijn tien winningen waar het verlagingsbeeld hoge potenties heeft als validatie- of ijkset en vier waar die potentie matig is. Voor acht winningen zijn er slechts lage potenties op dat vlak.

Tenslotte zijn er acht winningen waar er hoge potenties zijn om met het verlagingsbeeld betrouwbare bodemparameters af te leiden en vier waar deze potenties matig zijn. Voor de overige tien winningen zijn er slechts lage potenties om met het verlagingsbeeld betrouwbare bodemparameters af te leiden.

Hoe een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld te gebruiken

De grote voordelen van een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld ten opzichte van een stationair verlagingsbeeld dat is afgeleid met een pompproef, zijn dat het beeld doorgaans een grotere ruimtelijke omvang heeft en dat er meer garantie is dat het is afgeleid voor een stationaire situatie. Maar een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld kan ook een aantal beperkingen vertonen, waaronder een niet verwaarloosbare schattingsonzekerheid. Als aannemelijk is dat die beperkingen relevant zijn, zal daar specifiek rekening mee moeten worden gehouden bij het gebruik van het beeld als validatie- of ijk materiaal van een grondwatermodel. Van belang is ondermeer of er sprake was van lastig te modelleren invloedsfactoren en hoe daar rekening mee is gehouden bij de tijdreeksanalyse. Als er bijvoorbeeld over de beschouwde periode sprake was van een zwaartepuntsverplaatsing, is het een optie om de resultaten van nabij de winning niet mee te nemen.

Als voor een bepaalde winning kan worden aangenomen dat de beperkingen van het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld gering zijn, dan zijn de gebruikelijke analytische en numerieke methoden om pompproefresultaten te vertalen naar bodemparameters in principe ook geschikt om het afgeleide verlagingsbeeld te vertalen naar bodemparameters. Maar er kunnen wel aanpassingen nodig zijn van de parameter-optimalisatieroutine, om te verdiscounteren dat de schattingsonzekerheden verschillende groottes hebben en/of dat ze onderling afhankelijk zijn.

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling provincie Overijssel

Provincie Overijssel en waterbedrijf Vitens ontwikkelen samen grondwatermodellen om te kunnen bepalen welke effecten grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening hebben op de omgeving. Om de hiermee berekende stationaire verlagingsbeelden beter op hun waarde te kunnen beoordelen, bestaat behoefte aan onafhankelijk bepaalde verlagingsbeelden, die als validatiemateriaal kunnen dienen. Deze beelden kunnen eventueel ook worden benut als ijk materiaal om betrouwbaardere bodemparameters rond de winningen af te leiden. Hiervoor komen in aanmerking de stationaire verlagingsbeelden zoals afgeleid met tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen¹. Het betreft een grootschalig ruimtelijk beeld van de stationaire verlaging door de winning, dat op statistische wijze is gefilterd uit een groot aantal langjarige grondwaterstandreeksen, die zijn gemeten in peilfilters rond de winning.

Gezien het bovenstaande willen Provincie Overijssel en Vitens² dat voor alle drinkwaterwinningen in Overijssel wordt beoordeeld of de historische ontwikkelingen en de daarover beschikbare gegevens het mogelijk maken om een ruimtelijk beeld van de stationaire verlaging af te leiden met tijdreeksanalyse. Dit oordeel moet tevens worden ingebracht bij een parallel lopende studie voor de Provincie en Vitens, die zich richt op het verzamelen van ijksets om tot betrouwbare bodemparameters rond de drinkwaterwinningen te kunnen komen. Namens beide instanties heeft de Provincie Overijssel ons verzocht een daartoe strekkende definitiestudie uit te voeren. Dit rapport beschrijft de aanpak en de bevindingen van deze studie.

De studie is uitgevoerd door Paul Baggelaar (Icastat), Eit van der Meulen (AMO) en Harry Boukes (Adviesburo Harry Boukes), waarbij de eerste als hoofdaannemer fungeerde.

1.2 Doelstellingen van deze studie

Deze studie heeft de volgende vier doelstellingen.

1. Voor zes drinkwaterwinningen in Overijssel waarvan een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld beschikbaar is, een oordeel geven over dat beeld en over de mogelijkheid het te gebruiken als validatie – of ijk materiaal voor een grondwatermodel.
2. Digitaal beschikbaar stellen van de stationaire verlagingsbeelden die bruikbaar worden geacht als validatie – of ijk materiaal voor een grondwatermodel.
3. Voor de 16 overige Overijsselse drinkwaterwinningen een oordeel geven over de mogelijkheid een stationair verlagingsbeeld af te leiden met tijdreeksanalyse en over de mogelijkheid het te gebruiken als validatie – of ijk materiaal voor een grondwatermodel.

¹ Voor de leesbaarheid hanteren we in dit rapport de term ‘grondwaterstand’ zoveel mogelijk ook voor de stijghoogte. Alleen waar het onderscheid relevant is zullen we tevens apart de term ‘stijghoogte’ hanteren.

² Bij deze vertegenwoordigd door ir. Thomas de Meij, beleidsmedewerker geohydrologie van de Provincie Overijssel en ir. Jan Hoogendoorn, specialist hydrologie bij Vitens.

4. Inbrengen van de oordelen bij een parallel lopende studie voor de Provincie en Vitens, die zich richt op het verzamelen van ijksets om tot betrouwbare bodemparameters rond de drinkwaterwinningen te kunnen komen (zie § 1. 4).

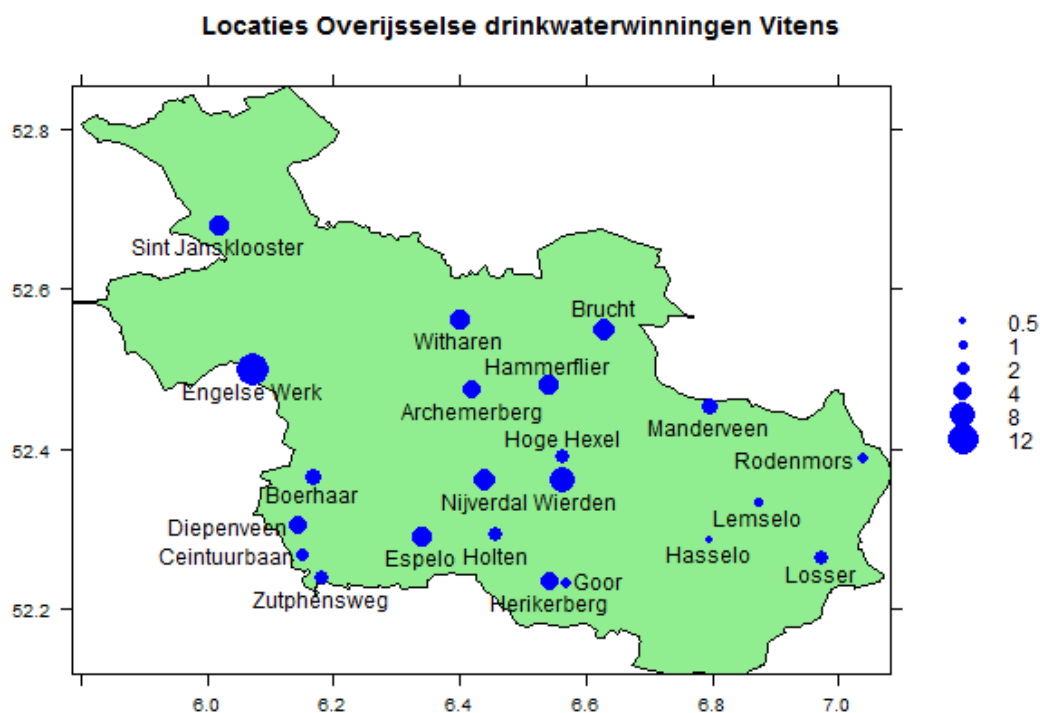
1.3 Beschouwde drinkwaterwinningen

Onze studie heeft betrekking op de grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening in de Provincie Overijssel. Uit gegevens van de Provincie blijkt dat er in de periode vanaf 1976 31 grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening zijn geregistreerd. Daarvan zijn er nu nog 21 operationeel. In overleg met de opdrachtgever is besloten om alleen voor de momenteel operationele drinkwaterwinningen na te gaan of de historische ontwikkelingen en de daarover beschikbare gegevens het mogelijk maken om een ruimtelijk beeld van de stationaire verlaging af te leiden met tijdreeksanalyse.

Voor wat betreft het beoordelen en het digitaal beschikbaar stellen van de reeds met tijdreeksanalyse afgeleide verlagingenbeelden, is op verzoek van de opdrachtgever ook het verlagingenbeeld van de in januari 2006 gestopte drinkwaterwinning Brucht meegenomen.

In totaal beschouwt deze studie dus 22 drinkwaterwinningen: de 21 momenteel operationele winningen en de voormalige winning Brucht. De lokaties van de beschouwde winningen zijn weergegeven in figuur 1.1, waarbij de grootte van de stip gerelateerd is aan de vergunde onttrekkingshoeveelheid.

Figuur 1.1: Lokaties van de 22 bij deze studie beschouwde drinkwaterwinningen in Overijssel. De grootte van een stip is gerelateerd aan de vergunde onttrekkingshoeveelheid (zie ook de legenda rechts, in miljoen m³/jaar).



In tabel 1.1 is voor elk van deze drinkwaterwinningen een aantal kenmerken

Tabel 1.1: Kenmerken van de 22 hier beschouwde drinkwaterwinningen (voorzover we deze konden achterhalen). De winningen Ceintuurbaan en Zutphenseweg zijn bij elkaar geplaatst, daar ze soms wel worden opgevat als twee Deventer-deelwinningen.

Winning	Deelwinning	Start	Winlaag	Aantal pomp-putten	Pomp-filters [m -mv]	Bijzonderheden wvp	Vergund [miljoen m ³ /j]
Archemerberg		1960	Wvp 1	17	20 - 65	Gestuwd, freatisch	4,0
Boerhaar		1981	Wvp 2	4	13 - 36	Gedeeltelijk afgesloten	3,2
Brucht		1958	Wvp 2	15	20 - 60	Gedeeltelijk afgesloten	5,4
Diepenveen		1933	Wvp 2	30	60 - 135	Afgesloten	4,0
Engelse Werk	Engelse Werk	1926	Wvp 1	9	40 - 90	Gedeeltelijk afgesloten	12,7
	Schellerdijk - mid		Wvp 1	10	40 - 90	Gedeeltelijk afgesloten	
	Schellerdijk - diep	1978	Wvp 2		120 - 160	Afgesloten	
Espelo		1973	Wvp 3	15	125	Afgesloten	4,5
Goor		1960	Wvp 1	6	100	Gedeeltelijk afgesloten	1,5
Hammerflie		1992	Wvp 2	5	15 - 45	Gedeeltelijk afgesloten	5,0
Hasselo		1934	?	5	17	Gedeeltelijk afgesloten	0,7
Herikerberg		1958	Wvp 1	19	80	Gestuwd, freatisch	4,0
Hoge Hexel		1936	Wvp 1	9	20 - 65	Gestuwd, ged. afgesloten	2,5
Holten		1956	Wvp 2		10	Deels gestuwd	2,5
			Wvp 3		80		
Lemselo/Weerselo		1967	Wvp 1b	4	56	Gedeeltelijk afgesloten	1,0
Losser		1937	Wvp 3	3	85 - 115	Breuken	2,4
Manderveen		1963	Wvp 2		60	In slenk	3,0
Nijverdal		1954	Wvp 1b	21	93	Gestuwd, freatisch	6,0
Rodenmors		1999	Wvp 2	9	23	Gedeeltelijk afgesloten	1,5
Sint Jansklooster		1935	Wvp 2	15	85	Gedeeltelijk afgesloten	5,0
Wierden		1893	Wvp 1b	32	50	Deels gestuwd	8,0
Witharen		1932	Wvp 1b/2a			Gedeeltelijk afgesloten	5,0
Deventer	Ceintuurbaan	1965	Wvp 2	12	140	Gedeeltelijk afgesloten	2,2
	Zutphenseweg	1962	Wvp 2	11	130	Afgesloten	2,6

1.4 Verwante studies

Onze studie is min of meer gelijktijdig uitgevoerd met twee verwante studies, die eveneens in opdracht van de Provincie Overijssel en Vitens waren, te weten:

- 1) *Naar betrouwbare en bruikbare bodemparameters Overijsselse drinkwaterwinningen.* De studie richt zich op het beoordelen van de reeds beschikbare informatie over de bodemparameters van de drinkwaterwinningen en op het verzamelen van de meest geschikte ijksets om ook bij nieuwe bodemschematisaties de optimale waarden van bodemparameters te kunnen bepalen. Dergelijke ijksets bieden namelijk flexibiliteit en toekomstbestendigheid. En als er voor een winning geen geschikte ijkset beschikbaar is, geeft deze studie aan hoe die moet worden vergaard. Daarbij wordt rekening gehouden met de volgende vier methoden om bodemparameters af te leiden: i) de klassieke pompproef, ii) de pompputtenpoef (ook wel aangeduid als de Boukes-methode [Boukes, 2007 en 2013], iii) het stationair ijken van een grondwatermodel aan een met tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen afgeleid verlagingsbeeld en iv) het niet-

stationair ijken van een grondwatermodel aan grondwaterstandreeksen. De studie is uitgevoerd door Adviesburo Harry Boukes en Icastat.

- 2) *Beoordeling grondwaterstandmeetreeksen voor ijken en valideren van grondwatermodellen voor Overijssel*. De studie richt zich op het ontwikkelen van een methode om tot geschikte ijk- en validatiesets voor grondwatermodellen te komen, zodanig dat de beschikbare informatie optimaal wordt gebruikt. Deze studie wordt uitgevoerd door Witteveen+Bos, in samenwerking met Icastat en AMO.

De raakvlakken van de drie studies (deze en de twee bovengenoemde) zijn weergegeven in het schema van tabel 1.2.

Tabel 1.2: Raakvlakken van deze studie en twee verwante studies, alle drie in opdracht van de Provincie Overijssel en Vitens.

Studie	Producten van de studie			
	Ijksets		Validatiesets	
	Binnen invloedsstraal drinkwaterwinningen	Buiten invloedsstraal drinkwaterwinningen	Binnen invloedsstraal drinkwaterwinningen	Buiten invloedsstraal drinkwaterwinningen
Beoordeling meetreeksen grondwaterstand voor ijken en valideren grondwatermodellen voor Overijssel		Ijksets (gws-/sthreeksen)	Validatiesets ¹⁾ (gws-/sthreeksen)	
Naar betrouwbare en bruikbare bodemparemeters Overijsselse drinkwaterwinningen	Ijksets / adviezen hoe die te verkrijgen			
Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen	Ijksets (in vorm verlagingsbeelden) / oordelen over kansen die te verkrijgen		Validatiesets ¹⁾ (in vorm verlagingsbeelden) / oordelen over kansen die te verkrijgen	

1) Het grondwatermodel moet niet zijn ontwikkeld of geijkt met deze data

1.5 Over dit rapport

Na deze inleiding beoordelen we in hoofdstuk 2 voor zes Overijsselse drinkwaterwinningen waarvan reeds een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld beschikbaar is, het beeld en zijn potentie als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel. In hoofdstuk 3 beoordelen we voor elk van de 16 Overijsselse drinkwaterwinningen waarvoor geen met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld beschikbaar is, in hoeverre de historische gegevens over de winning en de grondwaterstand in de omgeving geschikt zijn om een dergelijk beeld af te leiden. Verder beoordelen we de potentie van dat beeld als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel. Het hoofddeel van dit rapport sluit af met de alfabetische lijst van de aangehaalde literatuur.

Dit rapport heeft twee bijlagen. Bijlage 1 vermeldt voor elk van de 16 drinkwaterwinningen waar nog geen stationair verlagingsbeeld van beschikbaar is, de details van een empirische aanpak om te kunnen beoordelen in hoeverre de historische gegevens over de winning en de grondwaterstand in de omgeving geschikt zijn om een dergelijk beeld af te leiden. Bijlage 2 betreft een

beschrijving van het Excelbestand *Gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx*, dat alle relevante gegevens bevat van de met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeelden van de drinkwaterwinningen Boerhaar, Brucht, Hammerflief en Rodenmors. Het bestand is meegeleverd als digitale bijlage van dit rapport.

2 Beoordelen beschikbare verlagingsbeelden

In dit hoofdstuk beoordelen we voor zes Overijsselse drinkwaterwinningen waarvan reeds een met tijdreeksanalyse afgeleid verlagingsbeeld beschikbaar is, het beeld en zijn potentie als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel (§ 2.1). Ook beschrijven we hoe de vier uiteindelijk bruikbaar geachte verlagingsbeelden digitaal beschikbaar worden gesteld (§ 2.2). In § 2.3 worden enkele statistische kenmerken van de vier verlagingsbeelden vergeleken. Dit hoofdstuk sluit af met een korte verhandeling over het gebruik van een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld voor het valideren of ijken van een grondwatermodel (§ 2.4).

2.1 Reeds beschikbare verlagingsbeelden

Van de 21 nog actieve drinkwaterwinningen zijn er vijf waarvoor reeds verlagingsbeelden zijn afgeleid met tijdreeksanalyse. Verder zullen we op verzoek van de opdrachtgever ook het verlagingsbeeld beoordelen van de in januari 2006 gestopte winning Brucht. De hier beschouwde verlagingsbeelden zijn dan (in alfabetische volgorde):

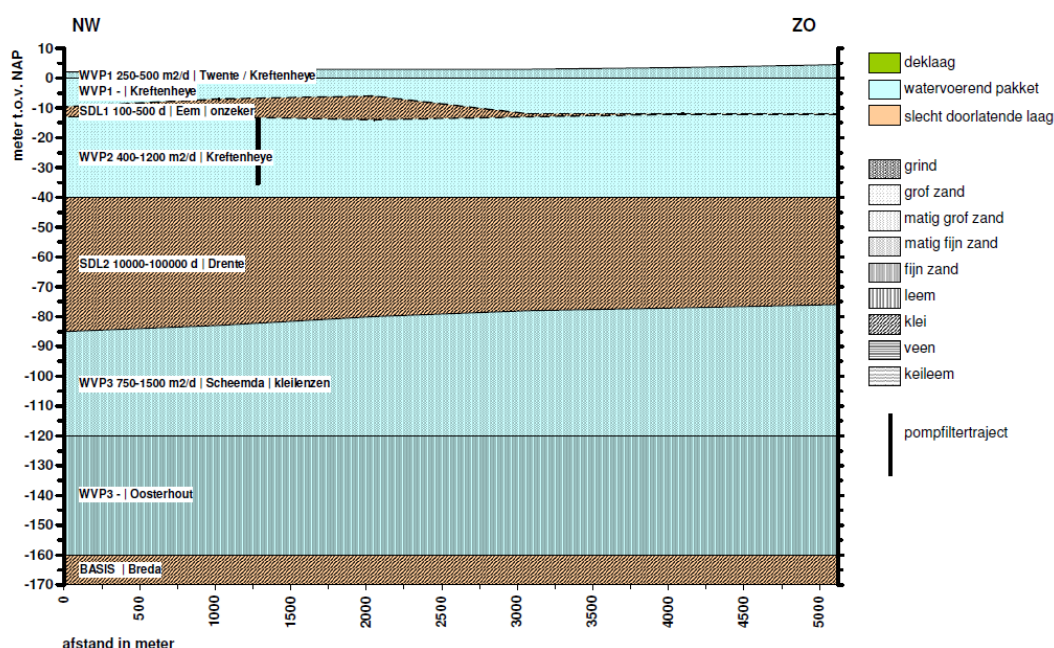
1. Boerhaar;
2. Brucht;
3. Hammerflier;
4. Losser
5. Manderveen en Manderheide;
6. Rodenmors.

In de nu volgende subparagrafen (§ 2.1.1 t/m 2.1.6) is voor elk van de zes boven genoemde drinkwaterwinningen eerst beschreven hoe het stationaire verlagingsbeeld van de grondwaterstand is afgeleid en vervolgens wordt dit beeld gepresenteerd. Daarna wordt de potentie van dat beeld als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel beoordeeld. Daarbij wordt vooral afgegaan op de mate waarin de geanalyseerde situatie voldeed aan de voorwaarden voor tijdreeksanalyse. Ook wordt afgegaan op de ruimtelijke dichtheid, zowel in de horizontaal als in de verticaal (bij meerdere watervoerende pakketten), van het stelsel peilfilters waarvan met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verlagingen van de grondwaterstand beschikbaar zijn.

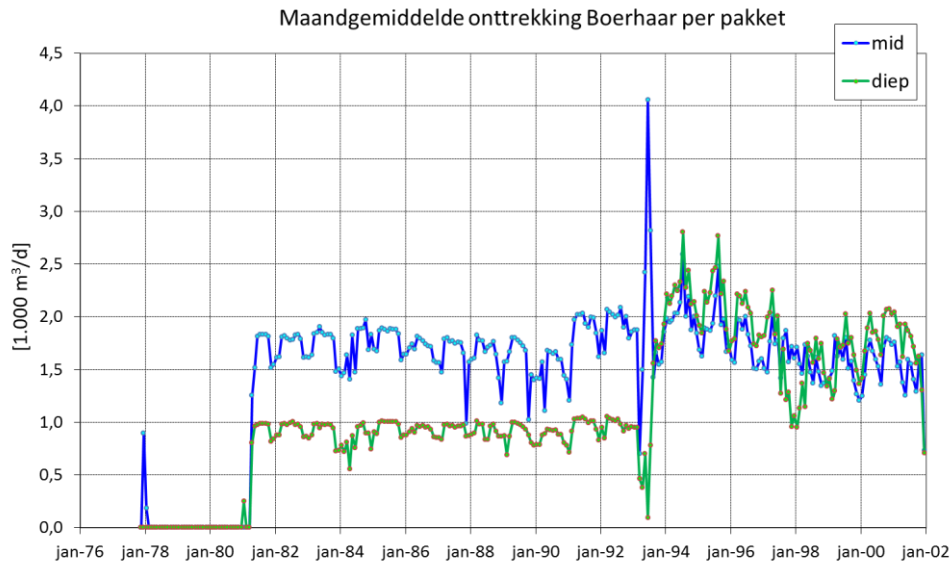
2.1.1 Boerhaar

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Boerhaar
Winveld: Boerhaar



Figuur 2.1: Verloop van de maandgemiddelde onttrekking op de winplaats Boerhaar [1.000 m³/d], zowel in het middeldiepe, als in het diepe watervoerende pakket.



De drinkwaterwinning Boerhaar bevindt zich in de IJsselvallei, in het gebied Broekland – Boerhaar, ten westen van het Overijssels Kanaal tussen Deventer en Raalte en ten oosten van de dorpen Wijhe en Olst. Het is overwegend een zandgebied, maar in het westen komen ook kleigronden voor. Het landgebruik is voornamelijk grasland, afgewisseld door enkele percelen bouwland (mais). Verspreid over het gebied komen ook enkele bossen voor. Het gebied helt van het oosten (circa 6 m boven NAP) naar het westen (circa 2 m boven NAP).

De drinkwaterwinning is gestart in april 1981³ en de onttrekking bedroeg tot eind 2001 circa 1,2 miljoen m³/jaar, verdeeld over het middeldiepe (wvp 2) en het diepe watervoerende pakket (wvp 3). Het diepe watervoerende pakket wordt afgedekt door een scheidende laag met een dermate grote verticale hydraulische weerstand, dat een invloed van die winning naar boven toe zeer onwaarschijnlijk is (zie bijvoorbeeld [Olsthoorn en Boukes, 1982]). De diepe winning is medio december 2001 gestopt.

Vanaf de start van de winning tot april 1993 omvatte de middeldiepe winning slechts één pompput. Tot februari 1991 was dit pompput 1 en daarna pompput 3 (pompput 1 is toen verlaten). Vanaf april 1993 zijn er twee pompputten bijgekomen (pompputten 4 en 5) en vanaf mei 1993 nog één (pompput 6). Deze veranderingen hebben geleid tot een stapsgewijze verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning van circa 230 m naar het noord-noordoosten. Dit zal de grondwaterstand nabij de winning hebben beïnvloed.

Watervoorzieningsplan Midden-West

In het midden van de jaren negentig is het watervoorzieningsplan Midden-West ontwikkeld, specifiek voor het gebied direct rond de winplaats Boerhaar, met als doelen: i) water aan te voeren voor infiltratie en beregening van landbouwgronden, ii) de gevolgen te compenseren van de grondwaterwinning te Boerhaar en iii) water aan te voeren voor het bestrijden van de bestaande verdroging van de natuur. Daartoe zijn nieuwe waterlopen gegraven en gekoppeld aan reeds bestaande en zijn ook enkele waterlopen verbeterd. Verder is een aantal stuwen gebouwd om hogere stuwpeilen te realiseren. Om de grondwaterstanden in het gebied direct rondom de winplaats Boerhaar te kunnen compenseren voor de grondwaterwinning zijn twee gemalen bijgeplaatst. Het gemaal Rietberg, dat in 1994 in gebruik is genomen, dient om in het noorden van het gebied water uit de Soestwetering in de Koppelleiding te pompen, dat vervolgens via de Nieuwe Wetering zuidwaarts stroomt en bij de stuw bij de Oude Deventerweg met het gemaal Broekland in een nieuw gegraven waterloop wordt gepompt, vanwaar het westwaarts afstroomt, naar het gebied direct rond de winplaats. Door al deze ingrepen is het totale natte oppervlak vergroot en zijn de zomerpeilen op een hoger niveau gebracht, opdat het oppervlaktewater meer invloed kon krijgen op het grondwater en de grondwaterstanden zouden stijgen. Volgens opgaaf van het waterschap is de wateraanvoer rond Pasen (7 en 8 april) van het jaar 1996 gestart. Na een herziening is het plan afgestemd op een grondwaterwinning van 3 miljoen m³/jaar uit het middeldiepe watervoerende pakket.

Gevolgde aanpak tijdreeksanalysestudie

Om de invloeden vast te kunnen stellen van de middeldiepe winning Boerhaar en van het vanaf 1996 uitgevoerde wateraanvoerplan Midden-West, zijn 47 meetreeksen van de grondwaterstand geanalyseerd volgens de methode Box-Jenkins [Baggelaar, 2002b]. In de meeste gevallen is daarbij de periode 1976 t/m 2001 beschouwd, zodat deze zowel de start van de winning, het verplaatsen van het zwaartepunt van de winning, als de start van het wateraanvoerplan Midden-West omvat. Als mogelijke invloedsfactoren zijn bij het modelleren betrokken: (1) de meteorologische situatie, (2) de middeldiepe winning Boerhaar, (3) de verplaatsing van het zwaartepunt van die winning, (4) het wateraanvoerplan Midden-West, (5) de oppervlaktewaterstand van de IJssel en (6) de bronbemalingen voor de bouw van het pompstation.

³ De onttrekkingspuls van eind 1977, die in figuur 2.1 is te zien, betreft een verkennende pompproef in het middeldiepe watervoerende pakket (met pompput 1), die is uitgevoerd van 20 december 1977 tot 3 januari 1978 [WMO, 1980].

Om de zwaartepuntsverschuiving bij de tijdreeksanalyse te kunnen verdisconteren is de tijdreeks van de variabele $Q_t \cdot \ln[r_{2t}/r_1]$ als invoerreeks gehanteerd bij het modelleren van een grondwaterstandreeks, waarin Q_t de onttrekking [m^3/d] in maand t , r_{2t} de afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning in maand t en r_1 de gemiddelde afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning met de pompputten 3, 4, 5 en 6, zoals berekend over de periode januari 1994 t/m december 2002.

Elk tijdreeksmodel kan ook drie mogelijk verschillende invloeden verdisconteren van het wateraanvoerplan Midden-West, namelijk een zomer-, een winter- en een intermediaire invloed. Om deze invloeden afzonderlijk te kunnen schatten is het wateraanvoerplan bij de tijdreeksanalyse vertegenwoordigd door de volgende drie invoerreeksen:

1. wateraanvoerplan zomer: deze reeks heeft in juni, juli, augustus en september van de jaren 1996 t/m 2001 de waarde 1 en anders steeds de waarde 0;
2. wateraanvoerplan winter: deze reeks heeft in januari, februari, maart en december van de jaren 1996 t/m 2001 de waarde 1 en anders steeds de waarde 0;
3. wateraanvoerplan intermediair: deze reeks heeft in april, mei, oktober en november van de jaren 1996 t/m 2001 de waarde 1 en anders steeds de waarde 0.

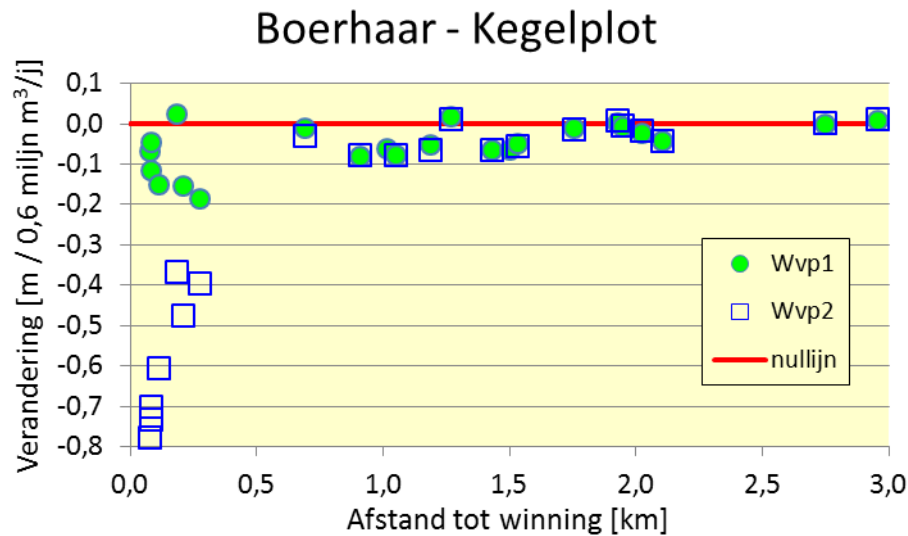
Er is bij het modelleren ook nog nagegaan of het nodig was een seizoensmatige invloed van de winning Boerhaar te verdisconteren, maar die werd niet aangetoond.

Resultaten tijdreeksanalysestudie

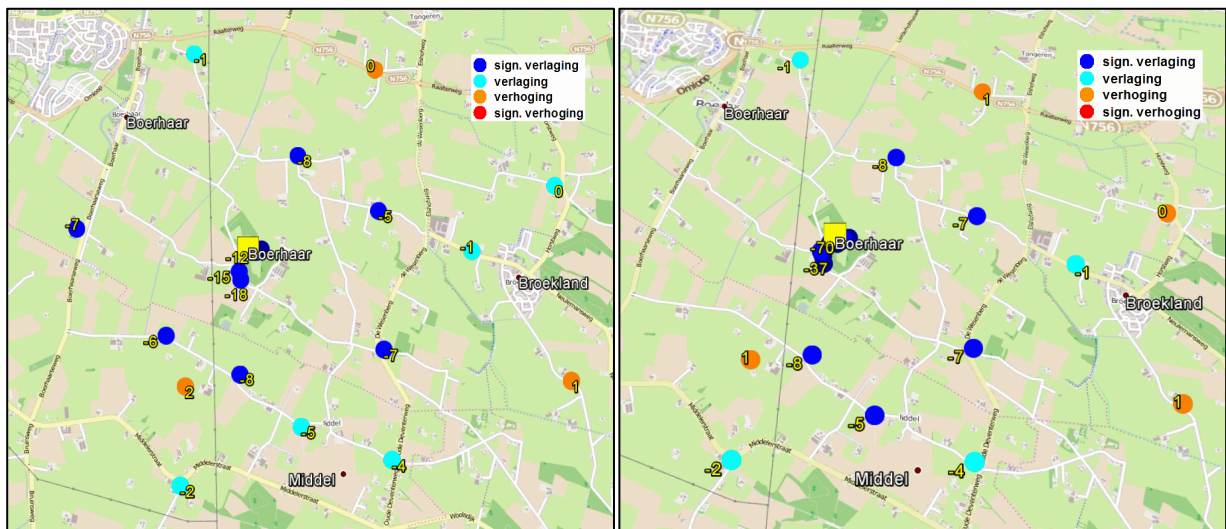
De statistische analyse is toegepast op 47 meetreeksen van de grondwaterstand / stijghoogte in de omgeving van de winning Boerhaar, om zo een beeld te kunnen scheppen van het ruimtelijke patroon van beïnvloeding. Er zijn 25 meetreeksen gemodelleerd van de grondwaterstand in het ondiepe watervoerende pakket (wvp1) en 22 van de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket (wvp2). Bij de analyse van zes van de 47 reeksen kon het wateraanvoerplan niet als invloedsfactor worden meegenomen (die reeksen eindigen daarvoor te vroeg) en in één van de gevallen kon de middeldiepe winning Boerhaar niet worden meegenomen (de reeks start daarvoor te laat). Er zijn daarmee 46 schattingen van de invloed van de middeldiepe winning Boerhaar.

De resultaten van de analyse zijn weergegeven in de kegelplot van figuur 2.2, waarbij de geschatte verlaging bij een winning van 0,6 miljoen m^3/jaar tweedimensionaal is uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. De resultaten zijn ook ruimtelijk weergegeven in figuur 2.3.

Figuur 2.2: Kegelplot van winning Boerhaar, waarbij de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand bij een winning van 0,6 miljoen m³/jaar is uitgezet tegen de afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning.



Figuur 2.3: Ruimtelijke presentatie van de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand (in cm) bij een winning van 0,6 miljoen m³/jaar, zowel in het 1^e watervoerende pakket (links) als in het 2^e watervoerende pakket (rechts).



Voor wat betreft de invloed van een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³/jaar blijkt dat de grootste verlagingen – circa 0,8 m - optreden op de winplaats, in het middeldiepe watervoerende pakket. In dat pakket komt de invloed van de middeldiepe winning Boerhaar dan ook het duidelijkst als een verlagingsskegel naar voren. In het ondiepe watervoerende pakket valt ook een verlagingsskegel te onderkennen, maar die is minder uitgesproken – de grootste verlaging is circa 18 cm - en hier en daar onderbroken. Het is denkbaar dat de invloedsstraal (invloed > 1 cm) van deze winning zich in het ondiepe watervoerende pakket tot circa 1,8 à 2 km van de winning uitstrekt.

De geschatte invloed van het wateraanvoerplan in de zomersituatie blijkt in 28 van de 41 gevallen statistisch significant en positief (ondiep is dit in 14 van de 22 gevallen), duidend op verhogingen van de grondwaterstand. De maximaal geschatte verhoging bedraagt 34 cm (ondiep watervoerend

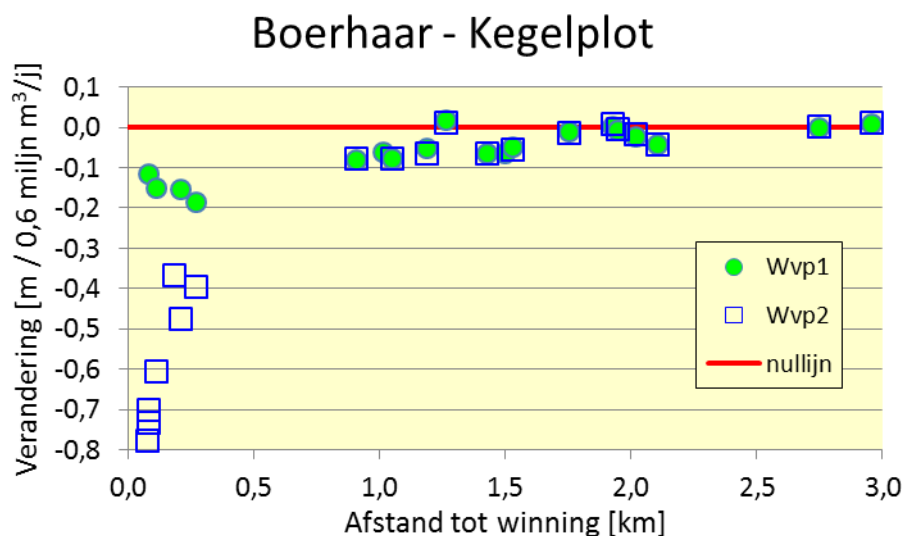
pakket). Van de overige 13 geschatte veranderingen geven er 11 verhogingen en twee verlagingen aan, zij het de laatste zeer gering. Voor wat betreft de geanalyseerde meetreeksen is dus de conclusie gerechtvaardigd dat het wateraanvoerplan in vrijwel alle gevallen de grondwaterstand heeft verhoogd.

In een drietal gevallen is vrijwel op de winplaats een verandering van de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket geschat, die niet past in het ruimtelijke beeld en die leidt tot een onderbreking van de verlagingsskegel. Uit navraag bij Vitens kwam naar voren dat het niet aannemelijk is dat dit is veroorzaakt door extra infiltratie vanuit het oppervlaktewater. Er ligt daar wel een slibvijver, maar die heeft een versmeerde en daarmee ondoorlatende bodem. Een plausibelere verklaring voor de geconstateerde discrepanties is dat het onzuivere schattingen betreft, door een minder geslaagde verdiscontering van de invloed van de zwaartepuntsverplaatsingen. Deze drie reeksen eindigen namelijk reeds in het voorjaar van 1996, terwijl er medio 1993 een grote verplaatsing is opgetreden van het zwaartepunt van de middeldiepe winning. De invloed daarvan kan dan slechts over een relatief korte periode worden geschat. Daar komt nog bij dat de gegevens over de verplaatsing van het zwaartepunt niet alle even gedetailleerd en betrouwbaar zijn. Voor de middeldiepe stijghoogten gemeten in deze drie peilbuizen lijken er geen grote discrepanties, vermoedelijk omdat de invloed van de zwaartepuntsverplaatsing op deze stijghoogten zó groot en duidelijk is, dat deze beter te schatten is.

De twee verlagingsskegels worden ook duidelijk onderbroken ter plaatse van peilbuis 27G-P145, gelegen op 0,69 km ten noordwesten van het recente zwaartepunt en ter plaatse van peilbuis 27G-P167, gelegen op 1,27 km ten zuidwesten van het recente zwaartepunt. Peilbuis 27G-P145 bevindt zich op slechts 10 m van een watergang en gezien de geringe seizoensmatige fluctuatie in de reeksen van zijn twee filters kan worden aangenomen dat deze sterk worden beïnvloed door het oppervlaktewater en dat er daardoor geen verlaging optreedt. Voor de discrepanties van de twee reeksen van 27G-P167f1 is vooralsnog geen verklaring.

Als we de vijf schattingen weglaten die discutabel/niet-representatief mogen worden geacht (de drie van de ondiepe peilfilters op de winplaats en de twee van 27G-P145), ontstaan scherpere verlagingsskegels in de twee watervoerende pakketten (zie figuur 2.4).

Figuur 2.4: Kegelploot van winning Boerhaar, na weglaten van vijf discutabele resultaten.



Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel

In het winpakket is er sprake van een duidelijke verlagingskegel door de winning, maar in het ondiepe watervoerende pakket is het beeld enigszins diffuser. Mede gezien de goede ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters zijn deze resultaten in principe bruikbaar te achten als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel. Ook de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is hoog te achten, aangezien er sprake is van een eenvoudige bodemopbouw. Er zal alleen wel op passende wijze rekening moeten worden gehouden met de volgende punten:

- We mogen aannemen dat de bij deze studie geschatte invloed van de middeldiepe winning op de grondwaterstand betrekking heeft op de situatie zónder het wateraanvoerplan. De tijdreeksmodellen omvatten namelijk de periode 1976 t/m 2001, zodat ze 15 jaar omvatten met alléén de winning en slechts 5 jaar met zowel winning als wateraanvoerplan. De invloed van het wateraanvoerplan in die laatste 5 jaar is echter apart verdisconteerd (zie hieronder).
- De invloed van het wateraanvoerplan op de grondwaterstand, die pas kan spelen vanaf april 1996, is apart geschat in het tijdreeksmodel, als een superpositie op de invloed van de winning. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de zomerinvloed, de winterinvloed en de intermediaire invloed van dat plan. De netto-invloed van de combinatie van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan is geschat als de som van beide invloeden. Deze schatting heeft betrekking op een winningsomvang van 0,6 miljoen m³/jaar. Er kan worden aangenomen dat een andere winningsomvang tot een niet-lineaire verandering van die netto-invloed zal leiden.
- Enkele geschatte veranderingen van de grondwaterstand door de winning moeten als discutabel worden gekwalificeerd. Dit komt doordat het niet goed mogelijk was de invloed van de verplaatsing van het zwaartepunt van de winning te verdisconteren in de tijdreeksmodellen, mede door het ontbreken van detailgegevens.
- Verder moet goed rekening worden gehouden met de ligging van de peilfilters ten opzichte van waterlopen, aangezien de invloed van de winning nabij een waterloop geringer is.

Eerste verkenning van de mogelijkheden het beeld te vertalen naar bodemparameters

De resultaten van de tijdreeksanalysestudie zijn ingevoerd in het programma MLU⁴, om aan de hand van een eenvoudige schematisatie (oneindige homogene pakketlagen) te verkennen of er plausibele bodemparameters kunnen worden verkregen. Er zijn in eerste instantie drie berekeningen uitgevoerd, met de volgende kenmerken:

- de winning is geconcentreerd in het zwaartepunt dat geldt vanaf 1994, met per peilfilter de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand zoals herleid voor de periode vanaf 1994;
- de winning vindt plaats met de ene pompput die in de jaren tachtig actief was, met per peilfilter de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand zoals herleid voor de periode 1981 t/m 1990;
- de winning is gewogen verdeeld over de vier pompputten die vanaf 1993 actief waren, met per peilfilter de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand zoals herleid voor de periode vanaf 1994.

De resultaten van deze exercitie zijn vermeld in tabel 2.1, evenals de waarden van de bodemparameters die zijn vermeld in het Vitens-factsheet.

⁴ www.microfem.com

Tabel 2.1: Resultaten van enkele verkennende exercities om de bodemparameters te schatten uit het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld. Tevens zijn de waarden vermeld volgens het Vitens-factsheet. Bij elke schatting is tussen haakjes de standaardfout vermeld.

	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c-Eem [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Factsheet		250-500	100-500	400-1200	
Zwaartepunt vanaf 1994	557 (353)	3027 (1674)	242 (73)	691 (82)	,0416
Één pompput, situatie 81 t/m 90	639 (314)	3181 (1217)	162 (42)	711 (70)	,0347
Vier pompputten, situatie vanaf 1994	583 (376)	3348 (1718)	222 (64)	622 (79)	,0417

De eerste berekening geeft een RMSE van circa 0,04 m, wat in principe een goed resultaat is. Maar de kD1-waarde is zeer hoog voor een ondiep pakket van tien meter dikte. Vermoedelijk wordt door deze te hoge kD1-waarde van het ondiepe pakket een deel van de horizontale toestroming van het diepe pakket overgenomen. In dat geval wordt de kD2-waarde te laag ingeschat en kan ook de c-waarde van de leemlaag te laag ingeschat worden, omdat anders dit water niet bij het diepe pakket kan komen. Om dit laatste te compenseren wordt de drainageweerstand mogelijk weer te hoog ingeschat.

De tweede berekening betreft de situatie in de jaren tachtig. Die blijkt dan ongeveer hetzelfde euvel te vertonen als de eerste: weliswaar een lage RMSE, maar een te hoge kD1-waarde. De derde berekening is om na te gaan of wellicht de projectie van de verspreide pompputten tot één zwaartepunt het euvel veroorzaakt. De resultaten veranderen echter amper.

Vervolgens is gekeken wat er verandert als we de discutabele schattingen (door korte tijdreeksen) en niet-representatieve schattingen (zoals van een peilfilter vlak naast de waterloop) weglaten. De resultaten zijn vermeld in tabel 2.2.

Tabel 2.2: Resultaten van een aanvullende exercitie, waarbij discutabele en niet-representatieve schattingen zijn weggelaten. Ook zijn de resultaten vermeld van de derde bovenstaande exercitie. Bij elke schatting is tussen haakjes de standaardfout vermeld.

	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c-Eem [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Uitgangspunt	583 (376)	3348 (1718)	222 (64)	622 (79)	,0417
Zonder discutabele schattingen	655 (179)	1332 (520)	245 (64)	758 (67)	,0269

We zien dat als de discutabele en niet-representatieve schattingen van de stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning worden weggelaten, de kD1-waarde aanmerkelijk lager wordt geschat, zij het dat deze nog steeds onwaarschijnlijk hoog is voor een ondiep pakket van tien meter dikte. Conform verwachting worden de kD2-waarde en de weerstand van de leemlaag in dit geval wat hoger geschat. Tegen de verwachting in wordt echter ook de drainageweerstand hoger geschat.

We concluderen dat deze eerste verkenning nog geen bevredigend resultaat oplevert. Mogelijke verklaringen zijn:

- de schematisatie van MLU is te grof, het houdt bijvoorbeeld geen rekening met het uitwijken (of zelfs verdwijnen) van de Eemklei op circa 1 km van de winning;

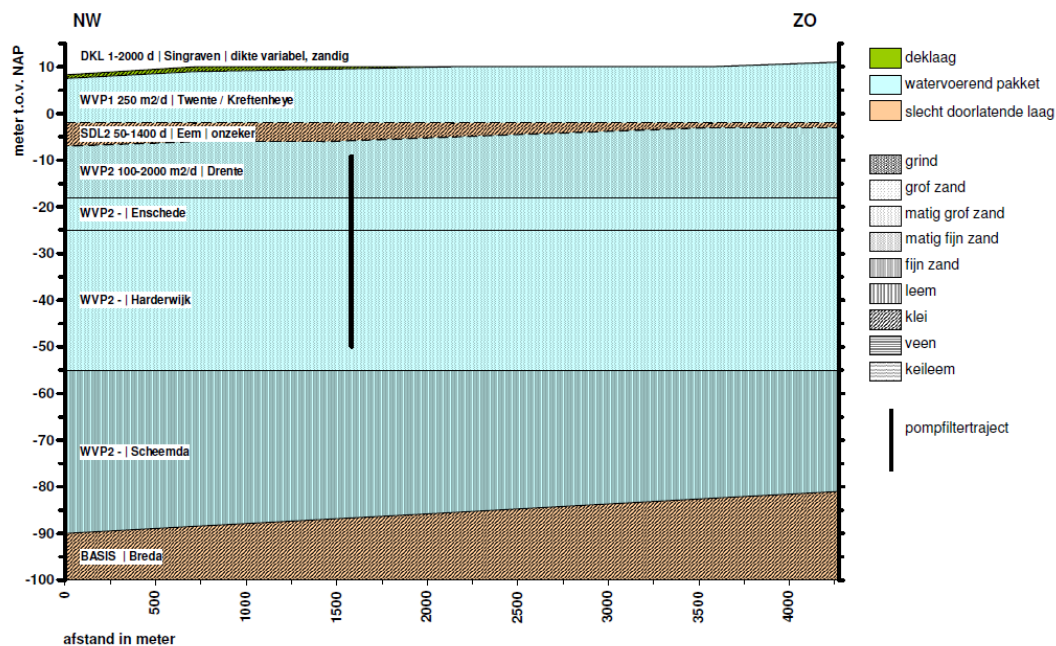
- de positionering van een aantal peilfilters is mogelijk niet representatief, zodat er te veel invloed van de waterlopen is;
- de invloed van het verplaatsen van het zwaartepunt van de winning is niet goed verdisconteerd in de tijdreeksmodellen;
- er zit te veel ruis op de resultaten van de tijdreeksanalyse, ook in relatie tot het geringe debiet (0,6 miljoen m³/jaar).

Het is niet mogelijk om louter uit deze verkennende analytische exercitie te concluderen of het verlagingsbeeld al of niet geschikt is als ijkset.

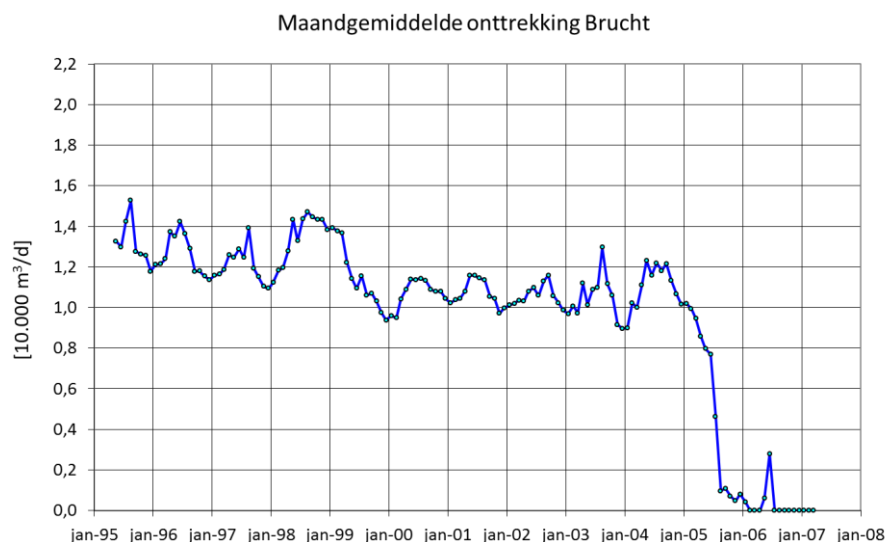
2.1.2 Brucht

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Brucht
Winveld: Brucht



Figuur 2.5: Verloop van de maandgemiddelde onttrekking op de winplaats Brucht [10.000 m³/d].



De winplaats Brucht bevindt zich ten zuiden van Hardenberg en net ten oosten van Brucht. De 15 pompputten beslaan een smalle, lange strook van 900 meter, die loopt van het noordwesten tot het zuidoosten. Het westelijke deel van het betreffende gebied wordt min of meer van noord naar zuid doorsneden door het dal van de rivier de Vecht. De maaiveldshoogte in dit dal is tussen de 6,5 en 8,5 meter boven NAP, terwijl het daarbuiten kan oplopen tot 11 meter boven NAP. Behalve door de Vecht, wordt het gebied ook doorsneden door het kanaal Almelo-De Haandrik, dat hier eveneens min of meer van noord naar zuid loopt. Het gebied wordt voornamelijk agrarisch gebruikt, verder omvat het woonwijken en industrieterreinen van Hardenberg en enkele natuurgebieden.

De grondwaterwinning Brucht is gestart in 1958 en is begin januari 2006 stopgezet. Om de daardoor optredende vernatting te kunnen vaststellen, zijn de grondwaterstanden in een groot aantal peilbuizen in het gebied over een lange periode gemeten, ook nog na het stoppen van de winning. Bijna anderhalf jaar na het stopzetten van de winning zijn de effecten van het stoppen empirisch vastgesteld, met tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen [Baggelaar en Van der Meulen, 2007].

De winning Brucht onttrok grondwater aan het 2^e watervoerende pakket. De jaarsom heeft maximaal 5,1 miljoen m³ bedragen (van april 1998 t/m maart 1999) en heeft ook lange tijd vrij stabiel circa 3,8 miljoen m³ bedragen (van 2000 tot 2005). In 2005 is vervolgens de winning in enkele stappen uitgefaseerd tot minder dan de helft in juli en nog slechts 5% in oktober, november en december, om vervolgens per 3 januari 2006 te stoppen. Daarna zijn er nog slechts kortdurende onttrekkingen geweest. De belangrijkste andere grondwateronttrekkingen in de omgeving zijn door de WAVIN, de aluminiumfabriek Hardenberg en het ziekenhuis Hardenberg, alle drie gelegen in Hardenberg.

[Gevolgte aanpak tijdreeksanalysestudie](#)

Om de invloed van de winning op de grondwaterstand te kunnen reconstrueren is in 2007 een tijdreeksanalysestudie uitgevoerd [Baggelaar en Van der Meulen, 2007]. Daarbij zijn tijdreeksmodellen ontwikkeld van 61 grondwaterstandreeksen, waarvan 37 afkomstig uit het 1^e watervoerende pakket, 21 uit het 2^e watervoerende pakket en 3 uit een subpakket daartussen. De 61 reeksen zijn afkomstig van 39 peilbuizen. De maximale modelperiode die is gehanteerd is mei 1995 t/m maart 2007.

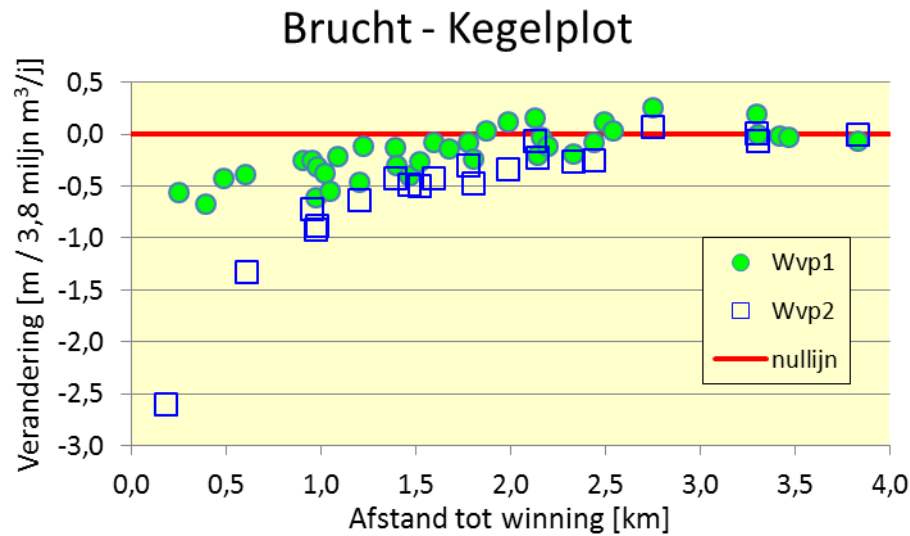
Elk tijdreeksmodel had bij de eerste modelronde in ieder geval als invoerreeksen: (1) het potentieel neerslagoverschot en (2) de winning Brucht. Verder hadden enkele tijdreeksmodellen bij de eerste modelronde ook één of meer andere mogelijk relevante invoerreeksen, zoals andere grondwateronttrekkingen, het Vechtpeil, het peil van het kanaal Almelo-De Haandrik en een nabije ingreep op de infiltratiecapaciteit van de bodem.

[Resultaten tijdreeksanalysestudie](#)

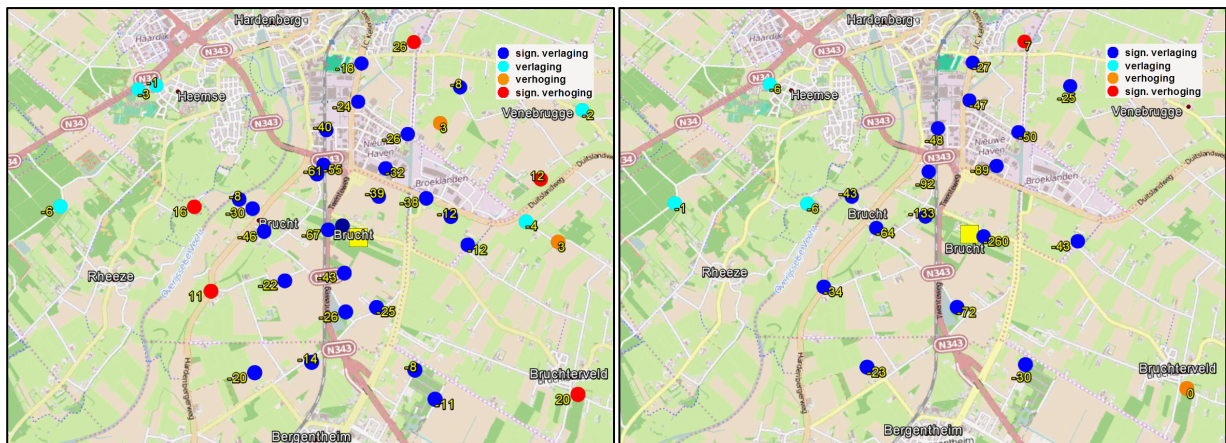
De belangrijkste resultaten van de analyse zijn weergegeven in de kegelplot van figuur 2.6, waarbij de geschatte verlaging bij een winning van 3,8 miljoen m³/jaar tweedimensionaal is uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.⁵ De resultaten zijn ook ruimtelijk weergegeven in figuur 2.7.

⁵ Door het stoppen van de winning zijn er uiteraard voornamelijk verhogingen van de grondwaterstand opgetreden, maar bij de grafische presentaties van de resultaten zijn we er van uitgegaan dat de verhoging door een afname X van de winningsgrootte gelijk kan worden gesteld aan de verlaging door een toename X van de winningsgrootte.

Figuur 2.6: Kegelploot van winning Brucht, waarbij de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand bij een winning van 3,8 miljoen m³/jaar is uitgezet tegen de afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning.



Figuur 2.7: Ruimtelijke presentatie van de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand (in cm) bij een winning van 3,8 miljoen m³/jaar, zowel in het 1^e watervoerende pakket (links) als in het 2^e watervoerende pakket (rechts).



De met statistische modellering geschatte verhogingen van de grondwaterstand door het stoppen van de winning Brucht zijn in het 2^e watervoerende pakket doorgaans groter dan in het 1^e watervoerende pakket. En in beide pakketten neemt de geschatte verhoging toe naarmate de peilbuis dichterbij de winning ligt. De (punt)resultaten van de statistische modellering geven aan dat het stoppen van de winning (komende van 3,8 miljoen m³/jaar) gepaard ging met de volgende verschijnselen:

- De stijghoogte is in het 2^e watervoerende pakket op 180 meter afstand van de winning met 260 cm verhoogd, op 1 km afstand met circa 90 cm, op 1,5 km afstand met 40 à 50 cm en op 2,4 km afstand met circa 25 cm. Tussen 3 en 4 km afstand neemt de verhoging af tot minder dan 5 cm.
- De grondwaterstand is in het 1^e watervoerende pakket tot een afstand van 500 meter van de winning tussen 40 en 70 cm verhoogd. In het traject van 500 meter tot 1 km afstand van de winning bedraagt de verhoging tussen 25 en 60 cm en in het traject van 1 tot 1,5 km afstand van de winning bedraagt de verhoging tussen 12 en 55 cm. De verhoging neemt tussen 3 en 4 km afstand af tot minder dan 5 cm.

- Op een aantal lokaties in het Vechtdal is de geschatte verhoging van de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket veel minder dan van andere lokaties op vergelijkbare afstanden van de winning Brucht. Dit duidt er op dat de Vecht lokaal de grondwaterstand beïnvloedt.
- Het uit de statistische modellering resulterende beeld van de verhoging van de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket is veel diffuser dan het beeld van het 2^e watervoerende pakket, wat duidt op een grotere invloed van lokale geohydrologische omstandigheden.

In een viertal gevallen gaf de statistische modellering aan dat de grondwaterstand is gedaald na het stoppen van de winning Brucht. Uit het verloop van deze grondwaterstandreeksen blijkt inderdaad dat ze de laatste jaren zijn gedaald. Dit kan uiteraard niet veroorzaakt zijn door het stoppen van de winning Brucht. De gebiedsinventarisatie heeft echter geen mogelijke oorzaken voor deze dalingen opgeleverd.

Het peil van het kanaal Almelo-De Haandrik bleek in geen van de gevallen waar deze als invoerreeks bij de modellering is betrokken een statistisch significante relatie met de betreffende grondwaterstand te vertonen. We concluderen hieruit dat het kanaalpeil op maandbasis geen grote invloed heeft op de grondwaterstand in de directe omgeving. Ook de twee ingrepen op de infiltratiecapaciteit van de bodem bleken geen statistisch significante relatie te vertonen met de grondwaterstanden waar deze als invoerreeks dienden bij het modelleren.

Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel

In beide watervoerende pakketten is er sprake van een verlagingskegel door de winning, maar in het 1^e watervoerende pakket zijn de verlagingen geringer en ook diffuser dan in het winpakket. Mede gezien de goede ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters zijn deze resultaten in principe bruikbaar te achten als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel. Ook de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is hoog te achten, aangezien er sprake is van een eenvoudige bodemopbouw. Eventuele niet-lineaire effecten spelen hier vermoedelijk geen grote rol en evenmin was er sprake van een relevante verplaatsing van het zwaartepunt van de winning. Bij de uitwerking naar bodemparameters moet daarentegen wel rekening worden gehouden met de invloed van de Vecht op de grondwaterstand in het Vechtdal.

Eerste verkenning van de mogelijkheden het beeld te vertalen naar bodemparameters

Om te verkennen of er uit de resultaten van de tijdreeksanalyse bodemparameters af te leiden zijn, zijn de resultaten in MLU ingevoerd. In eerste instantie is een optimalisatie uitgevoerd binnen een schematisatie volgens De Glee: één watervoerend pakket met daarboven een afdekkende laag waarboven een vast (polder)peil heerst. De winning is in het zwaartepunt geconcentreerd. Vervolgens is dezelfde som met een twee-laagssysteem doorgerekend. Omdat de berekeningen moeiteloos verliepen, is nog een berekening uitgevoerd waarbij de onttrekking naar capaciteit gewogen is verdeeld over de afzonderlijke pompputten. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel 2.3.

Tabel 2.3: Resultaten van drie verkennende exercities om de bodemparameters te schatten uit het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld.

	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c-Eem [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Pompproef RID (1982)	507			1392	
De Glee (MLU)	1433			1348	,0894
Twee-laags	555	320	855	1299	,125
Idem, met afzonderlijke pompputten	521	351	772	1156	,122

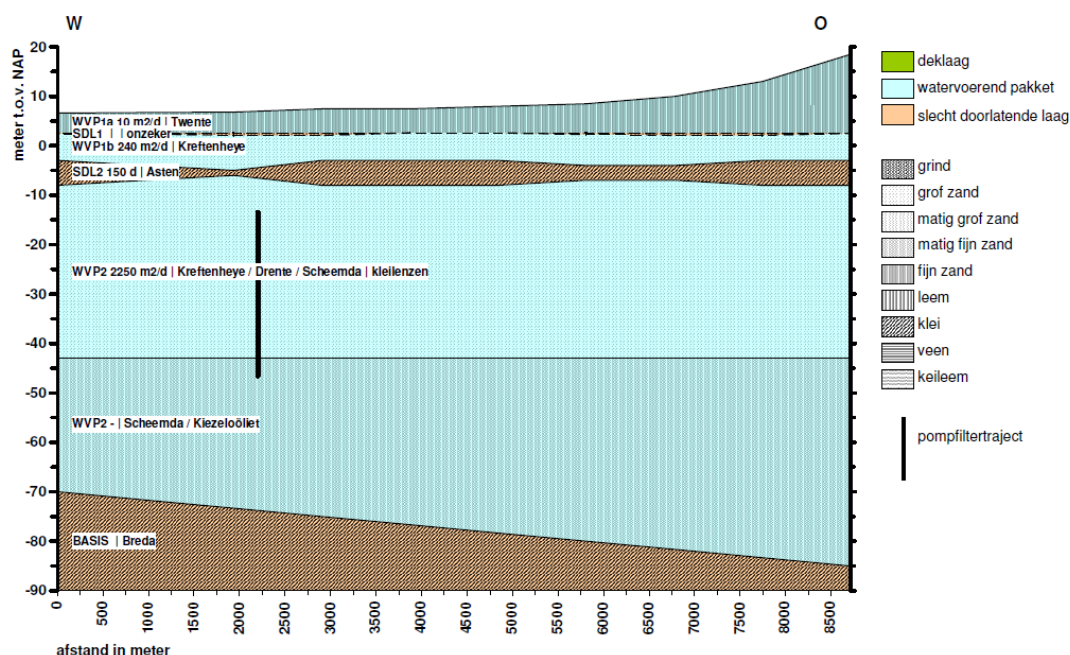
De resultaten liggen in de ordes van grootte die verwacht mogen worden. Het is opvallend om te zien hoe bij de twee-laags-benadering de som van beide c-waarden ongeveer gelijk is aan die bij de De Glee-schematisatie. Ook de lagere kD2-waarde bij de twee-laags-benadering is verklaarbaar: er is immers een eerste watervoerend pakket parallel bijgeschakeld, dat conform verwachting een deel van de horizontale toestroming overneemt. De kD2-waarde wordt bij hetzelfde gemeten verloop van de onttrekkingskegel dus iets lager. De RMSE oogt met ruim 12 cm aan de hoge kant, maar in het perspectief van verlagingen in de orde van 2,5 meter is dat niet onoverkomelijk.

Deze resultaten van de analytische exercities nodigen zeker uit om in een numeriek model verdere detailleringen toe te passen en zo te bezien of nog betere schattingen van bodemparameters kunnen worden verkregen.

2.1.3 Hammerflier

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Hammerflier
Winveld: Hammerflier



Figuur 2.8: Verloop van de maandelijkse onttrekking op de winplaats Hammerflier [1.000 m³/maand].



Het Hammerflier is een relatief laaggelegen landbouwgebied in het stroomgebied van de Vecht, met het maaiveld op 6 à 7 meter NAP. Het betreft een grote beekdalvlakte met verspreid liggende dekzandwelvingen. Aan de noordkant wordt het begrensd door het Beerzerveld, een (kwetsbaar) hoogveengebied, afgewisseld met natte en droge heide en bospercelen en aan de zuidkant door de Zandstuve, een bosgebied op lage, eolisch gevormde landduinen.

Combinatie grondwaterwinning en waterbeheersplan

Van nature waren de grondwaterstanden in het Hammerflier in het voorjaar te hoog en was er in een droge zomer vrijwel geen oppervlaktewater meer. Door het instellen van een combinatie van grondwaterwinning en een waterbeheersplan werd beoogd deze situatie te verbeteren.

De drinkwaterwinning Hammerflier is daartoe gestart in januari 1992 en onttrekt grondwater aan het 2^e watervoerende pakket. De winning heeft over de periode 1992 – 2007 enkele grote veranderingen ondergaan, waaronder een sterke en abrupte toename tot 1,6 miljoen m³/jaar na de start in 1992 en daarna een geleidelijke, maar continue daling tot 0,9 miljoen m³/jaar in 2004, die medio 2005 weer werd gevolgd door een abrupte toename tot 1,6 miljoen m³/jaar.

Het waterbeheersplan omvatte het aanleggen van een zodanig waterlopenstelsel dat 's winters het water beter kan worden afgevoerd en 's zomers water kan worden ingelaten vanuit het kanaal Almelo - De Haandrik. Deze waterinlaat naar het gebied is gestart in juni 1994 en vond hoofdzakelijk 's zomers plaats. Op jaarbasis lag de inlaat tussen 1 en 3 miljoen m³.

Gevolgte aanpak tijdreeksanalysestudie

Om de effecten van de grondwaterwinning Hammerflier en het bijbehorende waterbeheersplan empirisch te kunnen evalueren, zijn tijdreeksanalyses uitgevoerd van meetreeksen van de grondwaterstand in de omgeving [Baggelaar en Van der Meulen, 2008a]. Daarbij zijn 38 meetreeksen van de grondwaterstand geanalyseerd, namelijk 21 uit het 1^e watervoerende pakket en 17 uit het 2^e watervoerende pakket. Ze zijn afkomstig van 21 peilbuizen die zich binnen 3 km afstand van de winning bevinden.

De maximale periode waarover de reeksen zijn gemodelleerd is januari 1985 t/m juni 2007. Deze periode omvat namelijk een aantal jaren vóór de start van de grondwaterwinning Hammerflier (in 1992), die gepaard ging met een duidelijke stap, zodat de relatie tussen de grondwaterwinning en de grondwaterstand met een grotere precisie kan worden geschat. De periode omvat ook een aantal jaren vóórdat de uitwerkingen van het waterbeheersplan actief werden, namelijk de verbeterde waterafvoer in de winter door het verbeterde waterlopenstelsel en het peilbeheer (eind 1993) en de wateraanvoer in de zomer door waterinlaat vanuit het kanaal Almelo – De Haandrik (medio 1994). Dit geeft een grotere garantie dat de effecten van die uitwerkingen op de grondwaterstanden afzonderlijk kunnen worden geschat. Tenslotte kent deze periode een grote variatie voor wat betreft natte en droge perioden, zodat er meer garantie is dat het model de relatie tussen het neerslagoverschot en de grondwaterstand voldoende beschrijft.

Het merendeel van de geselecteerde reeksen start minstens 4 jaar vóór de start van de winning in januari 1992, wat een goed uitgangspunt geeft om een eventuele invloed van de winning statistisch te kunnen reconstrueren. Er zijn echter 4 reeksen die later starten (na 2000).

Alle reeksen zijn gemodelleerd met als invoerreeksen: (1) het potentieel neerslagoverschot, (2) de grondwaterwinning Hammerflier, (3) de wateraanvoer uit het kanaal Almelo – De Haandrik (tijdens het ingesteld zijn van het zomerpeil van het waterbeheersplan) en (4) het ingesteld zijn van het winterpeil van het waterbeheersplan. Voor de drie peilbuizen in of nabij het Beerzerveld is ook de wateraanvoer door het gemaal Beerzerhaar als invoerreeks meegenomen en voor de peilbuis die het dichtst bij de winning van Coberco ligt is ook die winning als invoerreeks meegenomen.

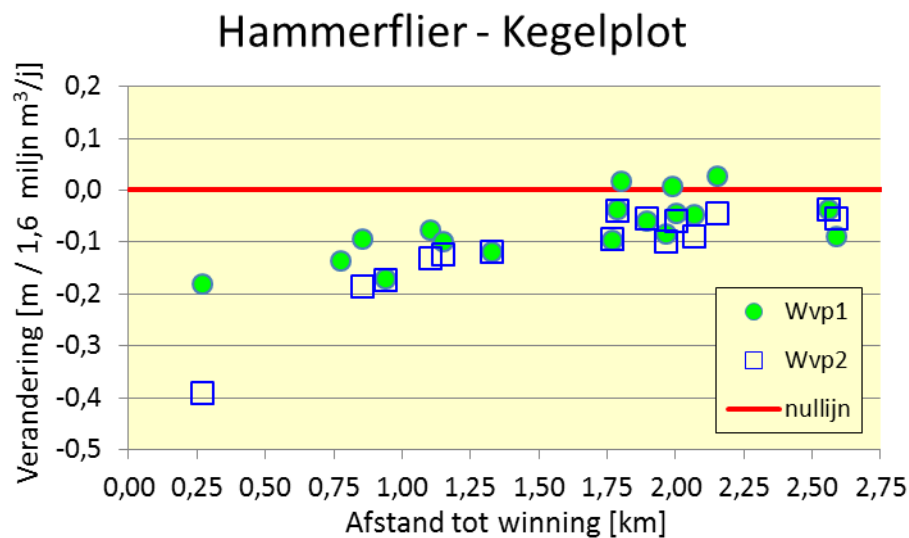
Resultaten tijdreeksanalysestudie

Voor vijf reeksen zijn de resultaten van de analyse onbruikbaar te achten. In vier gevallen betreft dit reeksen die pas na 2000 starten en het kon worden aangetoond dat het gebruik van de periode vanaf 2000 tot overschatting leidt van de relatie met de winning Hammerflier. In het vijfde geval

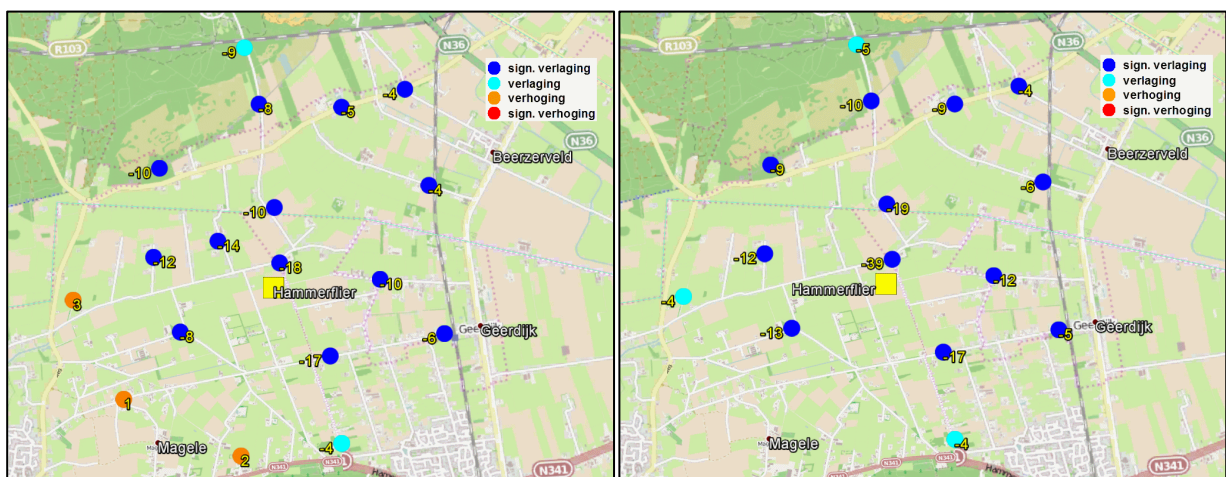
was het resultaat zeer waarschijnlijk vertekend door een sterke negatieve correlatie van de winningen Hammerflinter en Coberco, die in dat geval beide als invoerreeds dienden bij de tijdreeksmodellering.

De belangrijkste resultaten van de analyse zijn weergegeven in de kegelploot van figuur 2.9, waarbij de geschatte verlaging bij een winning van 1,6 miljoen m³/jaar tweedimensionaal is uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. De resultaten zijn ook ruimtelijk weergegeven in figuur 2.10.

Figuur 2.9: Kegelploot van winning Hammerflinter, waarbij de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand bij een winning van 1,6 miljoen m³/jaar is uitgezet tegen de afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning.



Figuur 2.10: Ruimtelijke presentatie van de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand (in cm) bij een winning van 1,6 miljoen m³/jaar, zowel in het 1^e watervoerende pakket (links) als in het 2^e watervoerende pakket (rechts).



Uit de statistische reconstructie blijkt dat de grondwaterstand in beide watervoerende pakketten tot op circa 1,8 à 2 km afstand met 95% betrouwbaarheid statistisch significant is gerelateerd aan de winning Hammerflinter. De grootte van deze relatie bedraagt in het 1^e watervoerende pakket maximaal circa -20 cm per 1,6 miljoen m³/jaar en in het 2^e watervoerende pakket ongeveer twee-

maal zoveel. Voor wat betreft het Beerzerveld zijn de geschatte relaties in het 1^e watervoerende pakket slechts met 70% betrouwbaarheid statistisch significant. Deze schattingen bedragen -8 à -10 cm per 1,6 miljoen m³/jaar.

Volgens de statistische reconstructie gaat het in het kader van het waterbeheersplan ingestelde winterpeil gepaard met verlagingen van de grondwaterstand, die afhankelijk van de peilbuis tussen de 4 en 8 cm bedragen.

Verder blijkt dat de aan de winning Hammerflier en het winterpeil gerelateerde winterverlagingen van de grondwaterstand tussen de 5 en 25 cm kunnen bedragen, afhankelijk van de peilbuis en het jaar. Door de relatief grote bijdrage van de winning Hammerflier aan dit gecombineerde effect, neemt de winterverlaging ruwweg af met de afstand tot de winning. Dit rechtvaardigt de conclusie dat de opzet om het Hammerflier 's winters beter te ontwateren is geslaagd.

Volgens de statistische reconstructie ligt de evenwichtsrelatie van de zomerse wateraanvoer en de grondwaterstand in het 1^e watervoerend pakket tussen de +3 en +13 cm per 10.000 m³/d, afhankelijk van de peilbuis. Dit leidt ertoe dat de wateraanvoer voor elke peilbuis - uitgezonderd 22DP0140 - minstens één zomermaand per jaar gepaard gaat met een verhoging van de grondwaterstand. De jaarmaximale verhogingen kunnen tussen de 2 en 28 cm bedragen, afhankelijk van de peilbuis en het jaar.

Verder blijkt dat het netto-effect van de winning Hammerflier en de zomerse wateraanvoer verhogingen van de grondwaterstand kan geven die maximaal kunnen oplopen tot tussen de 4 en 20 cm, afhankelijk van de peilbuis en het jaar. Dit rechtvaardigt de conclusie dat de opzet om door middel van wateraanvoer in de zomer de grondwaterstand te verhogen voor de meeste peilbuizen is geslaagd.

Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel

In beide watervoerende pakketten is sprake van een duidelijke verlagingskegel door de winning, waarbij de verlagingen in het winpakket binnen een afstand van circa 1,2 km van de winning groter zijn dan in het 1^e watervoerende pakket. Mede gezien de goede ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters zijn deze resultaten in principe bruikbaar te achten als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel. Ook de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is hoog te achten, aangezien er sprake is van een eenvoudige bodemopbouw. Er zal alleen wel op passende wijze rekening moeten worden gehouden met de volgende punten:

- Er is getracht om bij deze studie de invloeden van de winning (vanaf 1992), de grotendeels zomerse wateraanvoer (vanaf juni 1994) en het ingesteld zijn van het winterpeil (vanaf eind 1993) afzonderlijk te schatten, door ze als afzonderlijke termen op te nemen in het tijdreeksmodel. De totale invloed van winning en waterbeheersplan kan dan worden geschat als de som van de schattingen van deze afzonderlijke invloeden.
- De geschatte invloeden hebben betrekking op een winningsomvang van 1,6 miljoen m³/jaar. Het is lastig deze schattingen te extrapoleren naar een andere winningsomvang, omdat er sprake kan zijn van interactie tussen de invloeden van winning en waterbeheersplan.
- Er moet goed rekening worden gehouden met de ligging van de peilfilters ten opzichte van waterlopen, aangezien de invloed van de winning nabij een waterloop geringer is.

Eerste verkenning van de mogelijkheden het beeld te vertalen naar bodemparameters

Om te verkennen of er uit de resultaten van de tijdreeksanalyse bodemparameters af te leiden zijn, zijn de resultaten in MLU ingevoerd. In eerste instantie is een optimalisatie uitgevoerd waarbij de onttrekking geconcentreerd is in het zwaartepunt van de pompputten. Dit leidde gelijk al tot veelbelovende resultaten.

Tabel 2.4: Resultaten van een verkennende exercitie om de bodemparameters te schatten uit het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld. Tevens zijn de waarden vermeld volgens het Vitens-factsheet. Bij elke schatting is tussen haakjes de standaardfout vermeld.

	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Factsheet		250	150	2250	
Eerste poging	582 (113)	878 (1046)	251 (107)	3234 (629)	,0302

De geschatte kD2-waarde is wel hoog, maar omdat met tijdreeksanalyse voor het dichtstbijzijnde peilfilter in wvp2 (op 270 m afstand van de winning) slechts 39 cm verlaging is geschat, is zo'n hoge kD-waarde wel verklaarbaar. Ook de andere parameters wijken af van de in het factsheet vermelde waarden, maar zijn op zich niet onrealistisch. Besloten is om te verkennen hoe gevoelig de kD2 is voor het tijdreeksresultaat van dat dichtstbijzijnde peilfilter. Daartoe zijn twee aanvullende berekeningen uitgevoerd, één waarbij de geschatte verlaging van dat peilfilter met zijn standaardfout is verhoogd en de tweede waarbij deze met tweemaal zijn standaardfout is verhoogd (dit gaf dus in beide gevallen grotere verlagingen). De andere geschatte verlagingen zijn daarbij niet aangepast. De resultaten zijn vermeld in tabel 2.5.

Tabel 2.5: Resultaten van twee aanvullende exercities, één waarbij de geschatte verlaging van het dichtstbijzijnde peilfilter met zijn standaardfout is verhoogd en de tweede waarbij deze met tweemaal zijn standaardfout is verhoogd. De andere geschatte verlagingen zijn daarbij niet aangepast. Bij elke schatting is tussen haakjes de standaardfout vermeld.

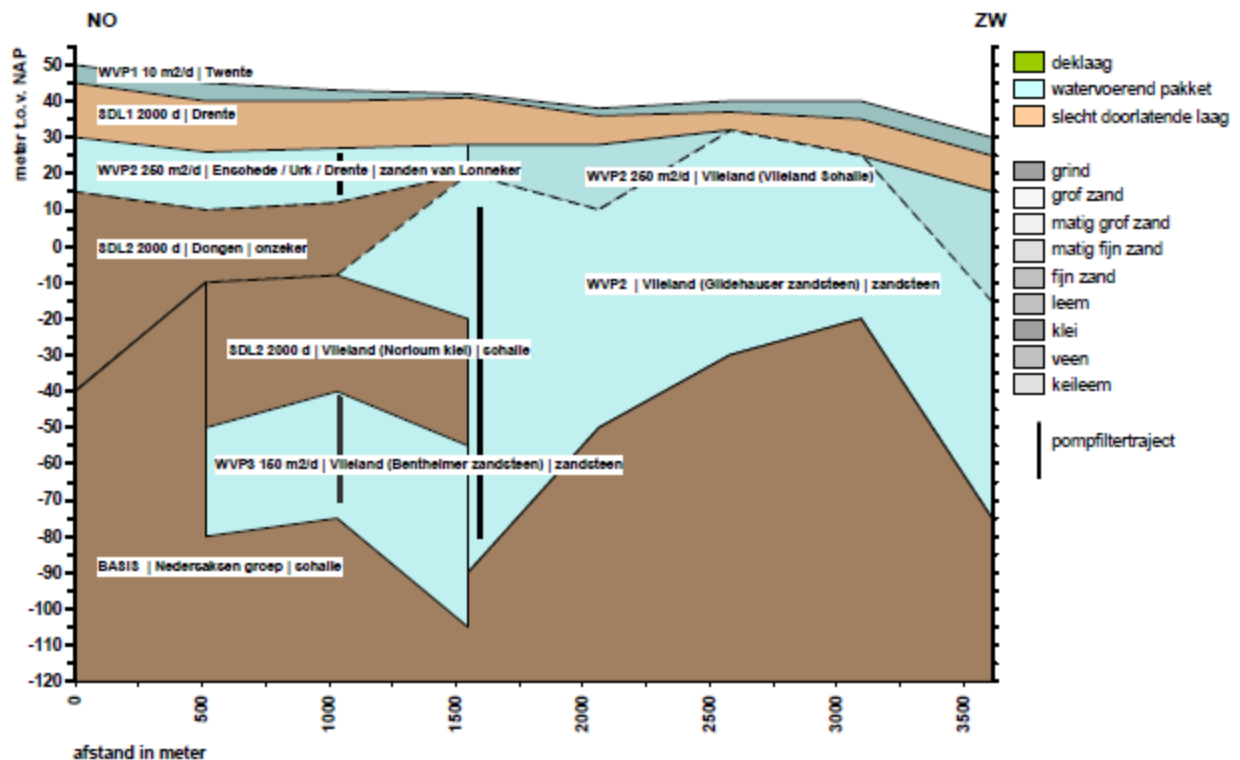
	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Eén verlaging plus 1x standaardfout	558 (114)	1200 (1227)	239 (95)	2790 (546)	,0302
Eén verlaging plus 2x standaardfout	550 (128)	1627 (1394)	225 (83)	2390 (477)	,0303

Het blijkt dat de kD2-waarde inderdaad gevoelig is voor de geschatte verandering in het dichtstbijzijnde peilfilter, maar de kD1-waarde blijkt dan op te lopen naar waarden die gezien de bodemopbouw minder plausibel zijn.

Net zoals we al zagen voor Brucht, nodigen ook deze resultaten uit om in een numeriek model verdere detailleringen toe te passen en zo te bezien of nog betere schattingen van bodemparameters kunnen worden verkregen.

2.1.4 Losser

Geohydrologische factsheet, profiel
Productielokatie: Enschede (Weerseloseweg)
Winveld: Losser



In Losser wordt sinds 1928 grondwater gewonnen voor de drinkwaterproductie. De winplaats ligt in het oosten van Twente, tussen de heuvelrug Oldenzaal-Enschede-Alstätte en de plaats Losser. Het pompstation bevindt zich op een slenk (een lager gelegen schol), die noordoostwaarts wordt begrensd door de Losserbreuk en zuidwestwaarts door de Zoekebreuk.

Op de winplaats werd aanvankelijk met acht pompputten grondwater onttrokken, die verdeeld waren over drie deelwinningen, namelijk een ondiepe winning uit de Zanden van Lonneker en twee diepe winningen, waarvan één uit de Gildehauser Zandsteen en één uit de Bentheimer Zandsteen.

In het streven tot een duurzame, goed beschermde winning te komen, is in 2000 en 2001 de winning uit vijf van deze pompputten stopgezet: in december 2000 betrof dit de geïsoleerd liggende diepe pompput DB4 (net buiten de bebouwde kom van Losser), die onttrok uit de Gildehauser Zandsteen en in maart 2001 betrof dit de vier ondiepe pompputten OB1 t/m OB4, die onttrokken uit de Zanden van Lonneker. De winning Losser is sindsdien geconcentreerd tot de diepe winning uit de Bentheimer Zandsteen, waarbij de drie pompputten gezamenlijk circa 1,5 miljoen m³/jaar onttrekken.

Gezien de complexiteit van de geologische opbouw van de ondergrond, is de winning Losser niet opgenomen in MIPWA. Er is dan vooralsnog ook geen behoefte aan validatie- of ijk materiaal.

Tijdreeksanalysestudies

Er zijn al verschillende studies geweest om de invloed van de winning Losser op de grondwaterstanden in de omgeving met behulp van tijdreeksanalyse in beeld te brengen.

In 2002 zijn met tijdreeksanalyse de resultaten verwerkt van een pompproef, die is gehouden van 17 oktober – 13 december 2000 en waarbij afwisselend verschillende pompputten zijn aan- en uitgeschakeld [Baggelaar, 2002a]. Tijdens die pompproef is in een twintigtal peilfilters in de omgeving hoogfrequent de grondwaterstand gemeten en is met een regenmeter continu de neerslag gemeten. Er is geen statistisch significante relatie van de grondwaterstand in het bovenste watervoerende pakket (dekzand/keileem) aangetoond met één van de drie deelwinningen. Maar de bij de analyse betrokken peilbuizen bevinden zich op 450 meter of verder van die deelwinningen, zodat een invloed op kortere afstand niet valt uit te sluiten.

Voor wat betreft de stijghoogte in het dieper gelegen dekzand/keileem bleek de ondiepe winning uit de Zanden van Lonneker een duidelijke verlagingskegel te veroorzaken. En ook de diepe winning uit de Bentheimer Zandsteen veroorzaakte duidelijke verlagingen in dat pakket, waarbij de verlaging op circa 500 meter afstand naar het zuiden groter is dan in de dichterbij gelegen peilbuizen. Dit kan er op wijzen dat de verticale hydraulische weerstand zuidwaarts minder is, vermoedelijk door het uitwijken van scheidende lagen. Er is geen statistisch significante relatie aangetoond met de diepe winning uit de Gildehauser Zandsteen, maar de bij de analyse betrokken peilbuis bevindt zich op 150 meter afstand.

Voor wat betreft de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket (Zanden van Lonneker) veroorzaakte de ondiepe winning uit dat pakket een duidelijke verlagingskegel. Het beeld van de verlaging in dat pakket door de diepe winning uit de Bentheimer Zandsteen is onduidelijk door de relatief grote standaardfouten van de geschatte veranderingen.

Tenslotte bleek dat de winning uit de Bentheimer Zandsteen een duidelijke verlagingskegel veroorzaakte in dat pakket.

In 2004 is met tijdreeksanalyse nagegaan of uit het stoppen van de deelwinningen in 2000 en 2001 hun invloeden op de grondwaterstanden konden worden gereconstrueerd [Baggelaar en Van der Meulen, 2004]. Aangezien er geen geschikte debietreeksen beschikbaar waren van de deelwinningen, zijn de stijghoogtereeksen in de pompputten gehanteerd als vertegenwoordiger van het verloop van die deelwinning. In totaal zijn 43 grondwaterstandreeksen statistisch geanalyseerd. Voor 15 grondwaterstandreeksen is een statistisch significante relatie aangetoond, met de ondiepe winning uit de Zanden van Lonneker of met de diepe winning DB4 uit de Gildehauser Zandsteen.

Beschouwd over de periode vanaf 1991 had de winning uit de Zanden van Lonneker in 1998 de grootste invloed op de grondwaterstanden in de omgeving, aangezien de winning in dat jaar maximaal was. In het ondiepe watervoerende pakket leidde dit tot verlagingen die lopen van ruim 3 meter op 70 meter ten westen van de winning, of 50 cm op 90 meter ten oosten van de winning tot 10 cm op 1,2 km ten zuidoosten van de winning. Over dezelfde periode had de diepe winning DB4 uit de Gildehauser Zandsteen in 1995 de grootste invloed op de grondwaterstanden in of nabij de bebouwde kom van Losser, aangezien de winning in dat jaar maximaal was. In het middeldiepe watervoerende pakket leidde dit tot verlagingen van 20 à 30 cm tot op circa 300 meter afstand van DB4. Opvallend genoeg zijn dergelijke verlagingen in dat pakket ook geconstateerd op veel grotere afstanden (1,4 en 2,0 km), in het midden van de bebouwde kom van Losser. Dit kan komen doordat de betreffende peilbuizen het filter ten dele ook in het winpakket hebben en/of door een vertekening doordat de nabijgelegen winning door de zuivelfabriek niet als invloedsfactor kon worden meegenomen bij het modelleren van deze grondwaterstandreeksen.

Voor wat betreft het ondiepe watervoerende pakket is er geen statistisch significante relatie aangetoond tussen de grondwaterstand en de diepe winning DB4. Maar de twee dichtstbijzijnde peilfilters in dat pakket bevinden zich respectievelijk 500 meter ten zuidwesten van DB4, in het uitkeringsgebied en 1.100 meter ten noordoosten van DB4, in de bebouwde kom van Losser.

In 2008 is getracht om met tijdreeksanalyse een beter beeld te krijgen van de invloed op de grondwaterstanden van de diepe winning met drie pompputten uit de Bentheimer Zandsteen [Baggelaar et al., 2008b]. Daarbij zijn ook de gegevens geanalyseerd van een meerjarige opzet, waarbij de drie diepe pompputten in 2006 afwisselend enkele maanden zijn aan- en uitgezet. Dit leverde echter geen scherp beeld op van de invloed van de winning. Blijkbaar was de variatie die in de winning is aangebracht te gering, waardoor de analyse weinig onderscheidend vermogen had. Daarom is het onderzoek uitgebreid met een statistische analyse van gegevens over een historische periode (1974 – 1990), waarin de gehele winning een half jaar is stilgelegd (juni 1981 – januari 1982). Dit leverde een scherper beeld op, zij het slechts op basis van negen meetreeksen. De belangrijkste bevindingen waren:

- Een diepe winning van 1,5 miljoen m³/jaar geeft in de Bentheimer Zandsteen nabij het geografisch zwaartepunt van de diepe pompputten een verlaging van de stijghoogte van 22 meter (peilbuis 29CB0012).
- De invloed van de diepe winning strekt zich minimaal tot circa 1,9 km uit, althans in zuidoostelijke richting (peilbuis 35AP0029).
- Er is voor de hier gedefinieerde middelste diepteklasse geen sprake van een logische relatie tussen de geschatte invloed en de afstand tot de winning. Dit wijst op de grote inhomogeniteit van de ondergrond.
- De invloed van de diepe winning doet zich ook gelden ten zuiden van de Zoekebreuk, namelijk in peilbuis 29CP0074 (met middeldiep peilfilter). Het is mogelijk dat de breuk ter plaatse iets zuidelijker loopt dan tot nu toe aangenomen, of dat er sprake is van rekspleten rond de breuk (een bredere breukzone).
- Er is geen relatie met de diepe winning aangetoond voor grondwaterstanden in peilbuizen in het oosten van Losser en oostelijk van Losser. Dit betreft de peilbuizen 29CB0076, 29CB0080 en 29CP0083. Aangezien hun peilfilters zich middeldiep bevinden, is het niet aannemelijk dat de invloed van de diepe winning zich daar ondiep manifesteert. De peilbuis 29CB0080 bevindt zich overigens in het gebied tussen de Losserbreuk en de Zoekebreuk, het veronderstelde in-trekgebied van de diepe winning. Vermoedelijk strekt het verlagingengebied zich dus minder ver oostelijk uit.

Bij de tijdreeksanalyse is slechts voor drie ondiepe peilfilters een statistisch significante relatie aangetoond met de diepe winning. Dit betreft:

- Het 1^e peilfilter van peilbuis 29CP0075, gelegen op 1,2 km ten zuidoosten van het geografisch zwaartepunt van de diepe pompputten, met onderkant filter op 3,5 meter onder maaiveld. De verlaging is geraamd op 34 centimeter bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar (met standaardfout 20 centimeter).
- Het peilfilter van peilbuis 29CP9004, gelegen op 270 meter ten westen van het geografisch zwaartepunt van de diepe pompputten. De exacte filterstelling is niet bekend. Vitens kon alleen aangeven dat het een ondiepe peilbuis betreft. De verlaging is geraamd op 2,67 meter bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar (met standaardfout 1,23 meter).
- Het peilfilter van peilbuis WRD5, gelegen op 570 meter ten westen van het geografisch zwaartepunt van de diepe pompputten, met onderkant filter op 4 meter onder maaiveld. De verlaging

is geraamd op 2,99 meter bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar (met standaardfout 1,60 meter).

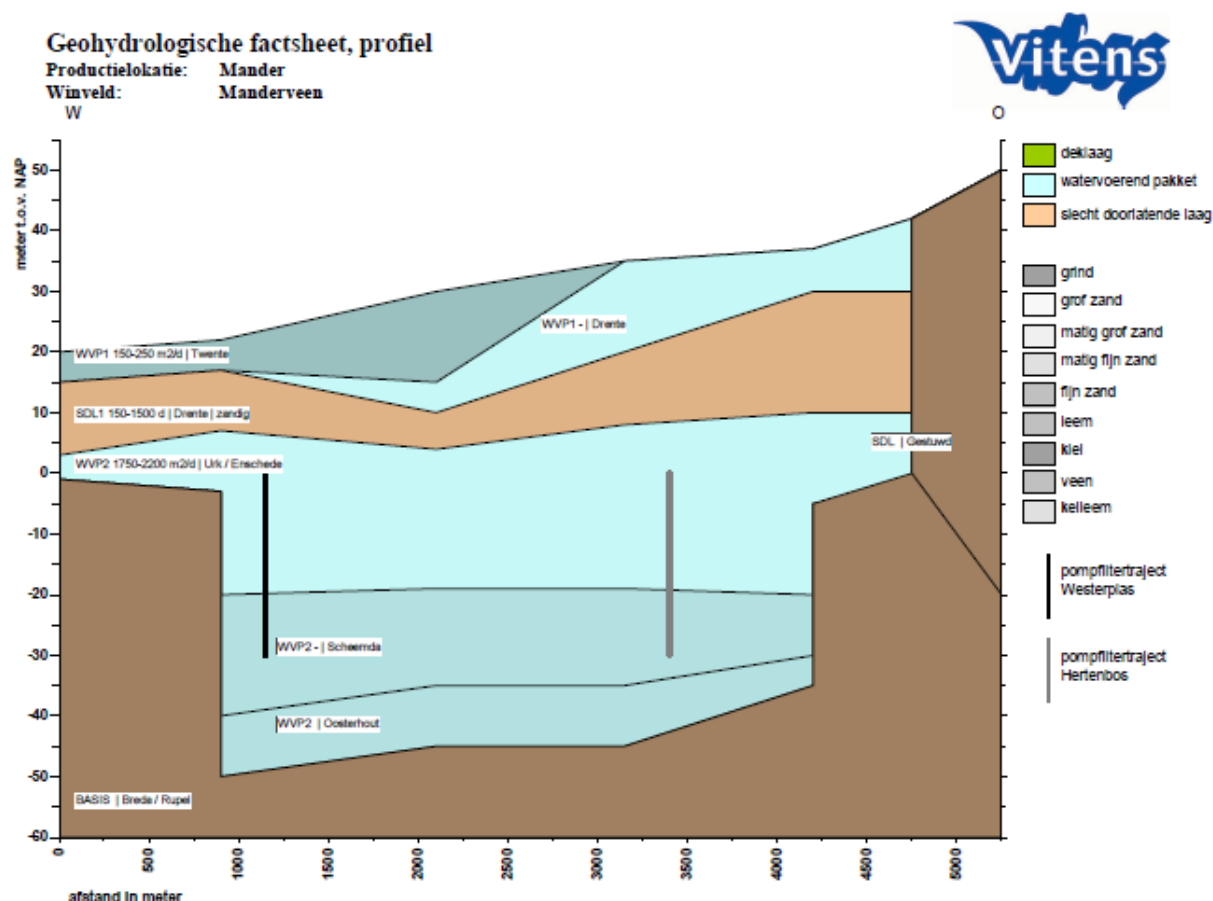
De geschatte verlagingen voor 29CP9004 en WRD5 zijn weliswaar beide fors (bijna 3 meter), maar hun standaardfouten zijn ook groot, wat betekent dat beide schattingen een geringe precisie hebben.

[Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel](#)

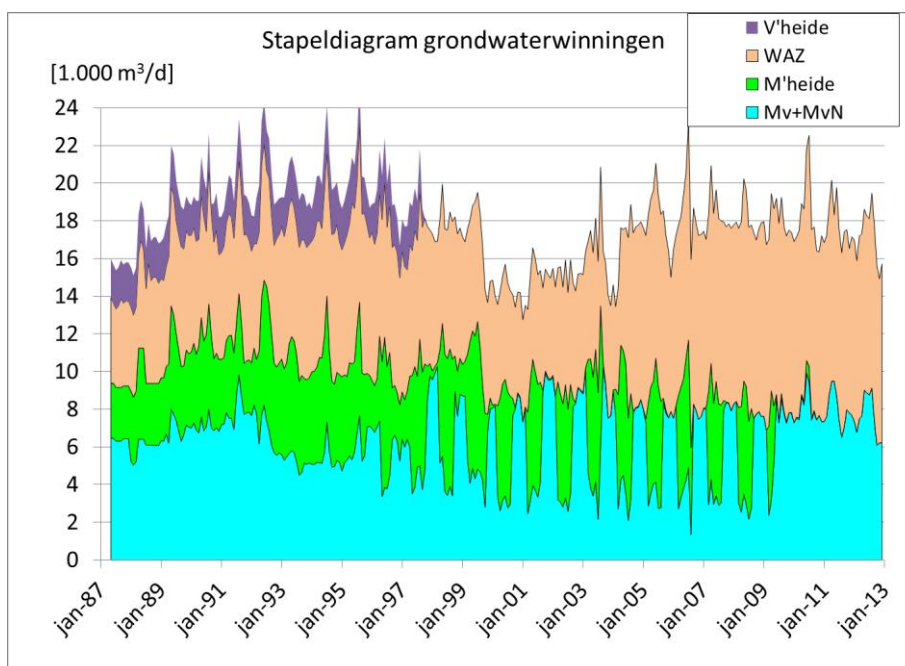
De verschillende studies hebben slechts gefragmenteerde beelden opgeleverd van de invloeden van de drie deelwinningen van Losser op de grondwaterstand. Deze lenen zich in beperkte mate voor het valideren of ijken van een grondwatermodel. De potentie van het afgeleide stationaire verlagingsbeeld als validatie- of ijkset is daardoor matig.

Aangezien er sprake is van een zeer complexe geologische opbouw van de ondergrond, moet ook sterk worden betwijfeld of de situatie kan worden beschreven met een grondwatermodel. De potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is daarom laag.

2.1.5 Manderveen en Manderheide



Figuur 2.11: Stapeldiagram van het verloop van de maandgemiddelde onttrekking van enkele drinkwaterwinningen in de Slenk van Reutum [1.000 m³/d].



De winningen Manderveen en Manderheide, samen ook wel aangeduid als de Mander-winning, onttrekken grondwater uit de slenk van Reutum. Even ten oosten van Manderheide bevindt zich de stuwwal van Ootmarsum.

Tijdreeksanalysestudies

Er zijn twee studies geweest om de invloed van de winningen Manderveen en Manderheide op de grondwaterstanden in de omgeving met behulp van tijdreeksanalyse in beeld te brengen.

Studie 2004

In 2004 zijn 242 grondwaterstandreeksen geanalyseerd, die starten in de periode januari 1974 - februari 1999 en eindigen in de periode december 1976 - januari 2003 [Kiwa, 2004]. De gemiddelde lengte van de beschouwde reeksen is 21 jaar en 7 maanden, waarbij de kortste reeks bijna 3 jaar lang is en de langste 29 jaar. Van elke grondwaterstandreeks is eerst een tijdreeksmodel ontwikkeld met neerslag en verdamping als invoerreeksen. Vervolgens zijn om beurten de winningen Manderveen, Manderheide en Vasserheide (deze is gestopt in 1998) toegevoegd als invoerreeksen en als bleek dat de grondwaterstand statistisch significant relateerde aan een winning (bij 70% betrouwbaarheid), is deze in het tijdreeksmodel opgenomen. De Duitse winning WAZ, die even ten noorden van de winning Manderveen ligt (met sterk verspreid liggende pomp-putten) en eveneens onttrekt aan de Slenk van Reutum, is niet als invoerreeks meegenomen. De resultaten van tijdreeksmodellen die niet minstens 85% konden verklaren van de variantie van de betreffende grondwaterstandreeksen zijn weggelaten.

Het bleek niet mogelijk de relaties van de grondwaterstand met de winningen Manderveen en Manderheide onafhankelijk van elkaar te schatten. De studie concludeert dat in een aantal peil-filters op de stuwwal van Ootmarsum verlagingen tot 20 à 30 cm zijn opgetreden, die correleren met deze winningen. Verder concludeert de studie dat het uitfasen van de winning Vasserheide in 1998 gepaard ging met een stijging van de grondwaterstand, zowel in de Slenk van Reutum als op de stuwwal van Ootmarsum. De auteurs stellen dat de doorwerking van de verlagingen in de Slenk van Reutum naar de stuwwal van Ootmarsum vooral via het zuidelijke deel van de slenk lijkt plaats te vinden.

De conclusies van deze studie over de invloeden van de winningen Manderveen en Manderheide op de grondwaterstand verdienen ons inziens enige nuancering, om de volgende redenen: i) over de beschouwde perioden was er geen sprake van duidelijke en onafhankelijke veranderingen van de winningen Manderveen en Manderheide, zodat het niet aannemelijk is dat de relatief grote relaties die zijn vastgesteld met de grondwaterstand op de stuwwal volledig causaal zijn, ii) de winning Manderheide was over de beschouwde perioden zowel sterk negatief gecorreleerd aan het neerslagoverschot (over de periode 1987 t/m 2002 bedroeg hun correlatiecoëfficiënt -0,45), als positief gecorreleerd aan de winning WAZ (over de periode 1987 t/m 2002 bedroeg hun correlatiecoëfficiënt 0,35), zodat het zeer wel denkbaar is dat zijn geschatte relatie met de grondwaterstand sterk vertekend is.

Studie 2013

In 2013 is een brede studie uitgevoerd om de effecten van de reallocatie van de Manderwinningen in 2012 te evalueren [Witteveen+Bos, 2013]. Deze studie omvatte naast tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen ook onderzoeken van de oppervlaktewaterkwantiteit, van de terrestrische vegetatie en van de macrofauna. De reallocatie hield in dat de winning Manderheide werd gesloten en dat de wincapaciteit werd verplaatst naar de winning Manderveen.

De winning Manderheide is vanaf halverwege 2009 afgebouwd en in november 2010 volledig gestopt. De nieuwe winputten aan de noordzijde van Manderveen zijn per 1 januari 2011 gestart. De totale winning van Manderveen onttrekt sinds halverwege 2011 vrijwel op vergunde capaciteit. De nieuwe winputten aan de zuidzijde van Manderveen zijn echter nog niet in gebruik genomen.

Bij de tijdreeksanalyse van de grondwaterstandreeksen is rekening gehouden met de invloed van het neerslagoverschot en van de Mander-winningen. Als de peilbuis daar voldoende bij in de buurt ligt is ook rekening gehouden met een invloed van de winning Vasserheide (die is gestopt in 1998), of van de Duitse WAZ-winning (gelegen net over de grens, eveneens in de slenk). Elke grondwaterstandreeks is bij de analyse ontleed in zijn componenten, waarbij ook de statistische significanties zijn vastgesteld van de relaties met de invloedsfactoren. De invloed van de reallocatie van de Mander-winning is daarbij gekwantificeerd als het gemiddelde van de Mander-component in de periode na de reallocatie (2011 tot en met 2012) min het gemiddelde van de Mander-component in een representatieve periode vóór de reallocatie (2000 tot en met 2008). Hierbij verstaan we onder de Mander-component de som van de Manderveen-component en de Manderheide-component.

Er zijn 62 grondwaterstandreeksen geanalyseerd. Ze zijn gemeten in 41 peilbuizen. Het betreft 38 reeksen uit het 1^e watervoerende pakket en 24 uit het 2^e watervoerende pakket (in de slenk is dat het winpakket). De periode waarover een grondwaterstandreeks is gemodelleerd voldoet aan de volgende criteria: i) de start is niet later dan mei 1998 en ii) het einde is niet eerder dan juli 2012. Elke modelperiode bedraagt daarmee minstens 14 jaar. Een lange modelperiode is nodig, met zowel natte als droge deelperioden, om de belangrijke dynamische relatie met het neerslagoverschot goed te kunnen modelleren. De eis dat de reeks niet eerder eindigt dan juli 2012 - dit is circa anderhalf jaar na het starten van de deelwinning Manderveen-Noord - dient om een uitspraak te kunnen doen over de invloed van het realloceren van de winning Mander op de grondwaterstand. Geen van de reeksen loopt overigens verder dan oktober 2012, omdat latere gegevens nog niet beschikbaar waren. Daarmee bedraagt de periode met informatie over de grondwaterstanden van ná het realloceren van de winning Mander niet meer dan 19 à 22 maanden, wat voor dit soort effectstudies niet veel is.

Geschatte effecten van de reallocatie

De met tijdreeksmodellering geschatte effecten van de reallocatie van de winning Mander op de grondwaterstand zijn als volgt samen te vatten:

- de statistisch significant geschatte effecten van de reallocatie liggen in het 2^e watervoerende pakket tussen -27 cm en +70 cm. In het 1^e watervoerende pakket liggen de statistisch significant geschatte effecten van de reallocatie tussen -9 cm en +27 cm;
- het merendeel van de statistisch significante effecten treedt op in de nabijheid van de winningen Manderveen+Manderveen-Noord en Manderheide;
- nabij de winning Manderveen+Manderveen-Noord zijn de meeste effecten geschat als verlagingen, terwijl de meeste effecten nabij de winning Manderheide zijn geschat als verhogingen. Dit sluit aan op de verwachting, aangezien de reallocatie een verplaatsing inhield van de capaciteit van de winning Manderheide naar de winning Manderveen+ Manderveen-Noord;
- in het deel van de slenk ten zuiden van de Manderwinningen zijn de meeste effecten geschat als verhogingen, voor beide watervoerende pakketten. Voor één filter in het 1^e watervoerende pakket en één in het 2^e watervoerende pakket zijn deze verhogingen zelfs 4 à 5 km zuidelijk van de Manderwinningen nog statistisch significant en bedragen daar respectievelijk +19 en +23 cm. Het betreft echter geen nauwkeurige schattingen, gezien hun brede 95 %-betrouwbaarheidsintervallen die lopen van 1-36 cm en 3-44 cm;
- de meeste statistisch significant geschatte effecten betreffen het 2^e watervoerende pakket, namelijk 14 van de 20;
- voor het 1^e watervoerende pakket zijn zes statistisch significante effecten geschat;

- er zijn zes grondwaterstandreeksen van de stuwwal gemodelleerd. waarvan drie met voldoende pasvorm (minstens 75 % van de variantie is verklaard door het deterministische deel van het model). Voor deze reeksen zijn geen statistisch significante effecten van de reallocatie van de winning Mander geschat.

Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel

Het verlagingsbeeld dat is gereconstrueerd voor de winning Manderveen achten wij niet voldoende geschikt als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel, zoals hieronder toegelicht.

Nabij de winning Manderveen zijn met de tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen de meeste effecten geschat als verlagingen, terwijl nabij de winning Manderheide de meeste effecten zijn geschat als verhogingen. Dit sluit aan op de verwachtingen daaromtrent, aangezien de winning Manderheide is gestopt en zijn onttrekking is overgenomen door de winning Manderveen. Toch moet dit nog slechts als een eerste, globale indruk van de effecten van de reallocatie op de grondwaterstand worden opgevat, aangezien hier niet goed werd voldaan aan de voorwaarden om met tijdreeksmodellering het effect van de reallocatie van de winning Mander op de grondwaterstand betrouwbaar vast te kunnen stellen. Dit komt doordat:

1. de variaties van de winningen Manderveen en Manderheide over de periode vanaf 1987 veelal beperkt blijven tot seizoensmatige veranderingen. Wel is de winning Manderheide vanaf 2009 geleidelijk gereduceerd en oktober 2010 helemaal gestopt. Maar gezien de relatief beperkte variaties is het niet te verwachten dat effecten van deze winningen tot op grote afstand kunnen worden gereconstrueerd met tijdreeksmodellering;
2. de beschikbare grondwaterstandreeksen lopen niet verder dan oktober 2012. Daarmee bedraagt de periode met informatie over de grondwaterstanden van ná het realloceren van de winning Mander hooguit 22 maanden, wat voor dit soort effectstudies niet veel is;
3. de winningen Manderveen en Manderheide correleren dermate sterk, dat het niet mogelijk is om hun individuele effecten met tijdreeksanalyse onafhankelijk van elkaar te schatten. Dit betekent dat het effect van de reallocatie van de winning Mander niet kan worden uitgesplitst naar het effect van het starten van de winning Manderveen-Noord en het effect van het stoppen van de winning Manderheide;
4. de winning Manderheide is sterk negatief gecorreleerd met het potentieel neerslagoverschot, terwijl dat doorgaans de belangrijkste invloedsfactor is van de grondwaterstand. Dit betekent dat de schatting van het effect van deze winning onbetrouwbaar is;
5. mogelijk nog niet alle effecten van de reallocatie zijn uitgekristalliseerd. Zo is het denkbaar dat er op de stuwwal sprake is van een lange responstijd van de grondwaterstand op de Manderwinningen.

Het globale invloedsgebied van de reallocatie en de ruimtelijke spreiding van het soort invloed (verhoging of verlaging), zoals dat naar voren komt uit deze tijdreeksmodelleringen, sluit in grote lijnen wel aan op wat hydrologisch wordt verwacht en op wat de MER-studie Mander daarover voorspelde op basis van grondwatermodellering. Bij die MER-studie zijn eventuele effecten op de grondwaterstand in het stuwwalgebied echter niet meegenomen, vanwege de geohydrologische complexiteit.

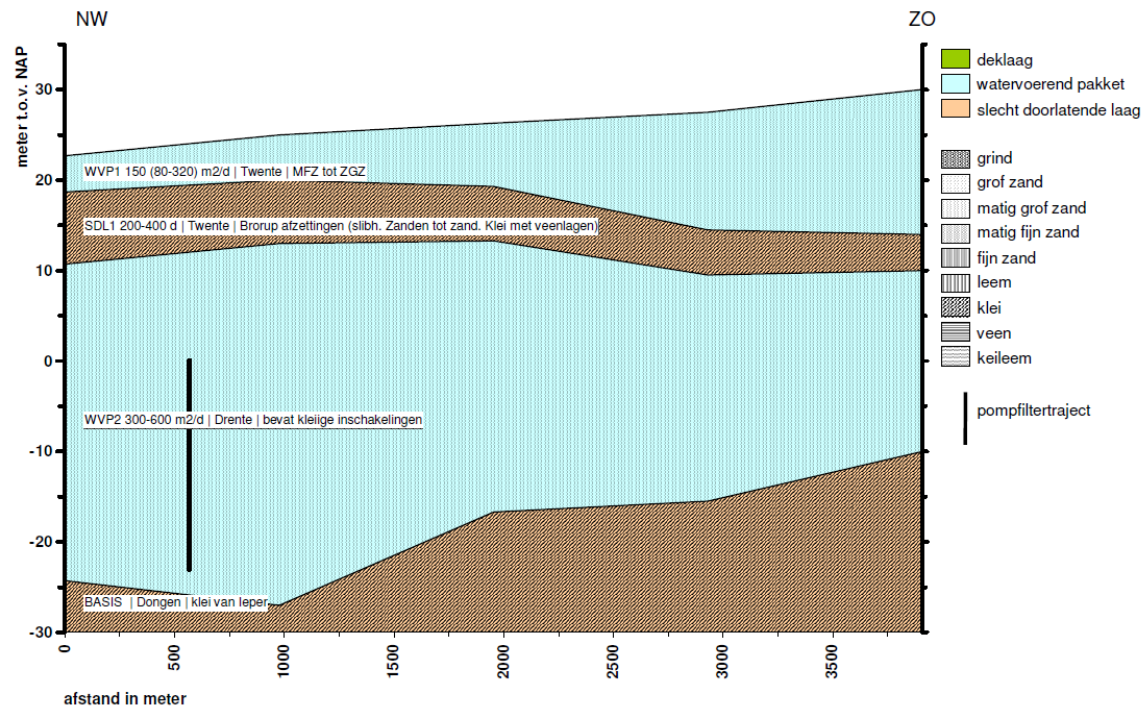
Het is te verwachten dat bij de (geplande) herhaling van deze tijdreeksanalyse in 2017 een scherper verlagingsbeeld kan worden geschetst, aangezien de storende negatieve correlaties van de winning Manderheide met enerzijds de winning Manderveen en anderzijds het potentieel neerslagoverschot vanzelf kleiner zullen worden over een langere modelperiode. Dit komt

doordat de deelperiode waarin de winning Manderheide nul bedraagt – en dus niet meer correleert aan de winning Manderveen en aan het potentieel neerslagoverschot - dan veel langer zal zijn. Verder kunnen eventueel sterk vertraagde effecten van de reallocatie dan wellicht ook gedetecteerd worden.

2.1.6 Rodenmors

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Rodenmors
Winveld: Rodenmors



Figuur 2.12: Verloop van de maandgemiddelde onttrekking op de winplaats Rodenmors [m^3/d].



De winning Rodenmors ligt even ten oosten van Denekamp, vlakbij de Duitse grens. In de omgeving komen voornamelijk graslanden voor, evenals enkele verspreid liggende bospercelen. Het maaiveld bevindt zich tussen 22 en 27 meter boven NAP. De hoogteverschillen worden veroorzaakt door dekzandruggen en esgronden.

De ondergrond van de winning Rodenmors kan geohydrologisch worden geschematiseerd tot twee watervoerende pakketten, gescheiden door een slecht doorlatend pakket. De winning vindt met 9 pompputten plaats aan het 2^e (of diepe) watervoerende pakket. De pompsfilters bevinden zich globaal tussen 24 en 45 meter onder maaiveld. De grondwaterwinning is in juli 1999 gestart en in enkele fasen toegenomen tot circa 1,5 miljoen m^3/jaar in 2003 en 2004.

Wateraanvoerplan Rodenmors

Ter compensatie van de invloed van de winning op de grondwaterstanden is in april 1999 het wateraanvoerplan Rodenmors gestart met de aanvoer van oppervlaktewater vanuit het Omleidingskanaal naar dit gebied. Daartoe zijn enkele waterlopen verbeterd en zijn andere toegevoegd. Bovendien zijn twee inlaatlokaties gerealiseerd – het gemaal Brandlichterweg en de inlaat Lukens – en zijn in diverse waterlopen stuwen geplaatst, zodat het oppervlaktewater over het gebied kan worden verdeeld en ook op peil kan worden gehouden. Voor elk stuwvak in het gebied worden zomer- en winterpeilen nagestreefd. Het zomerpeil ligt daarbij ergens tussen de 15 en 45 cm hoger dan het winterpeil. De overgang van winter- naar zomerpeil is meestal in mei of juni en de overgang van zomer- naar winterpeil meestal in september of oktober. Het wateraanvoergebied beslaat een oppervlakte van 431 hectare.

Gevolgte aanpak tijdreeksanalysestudie

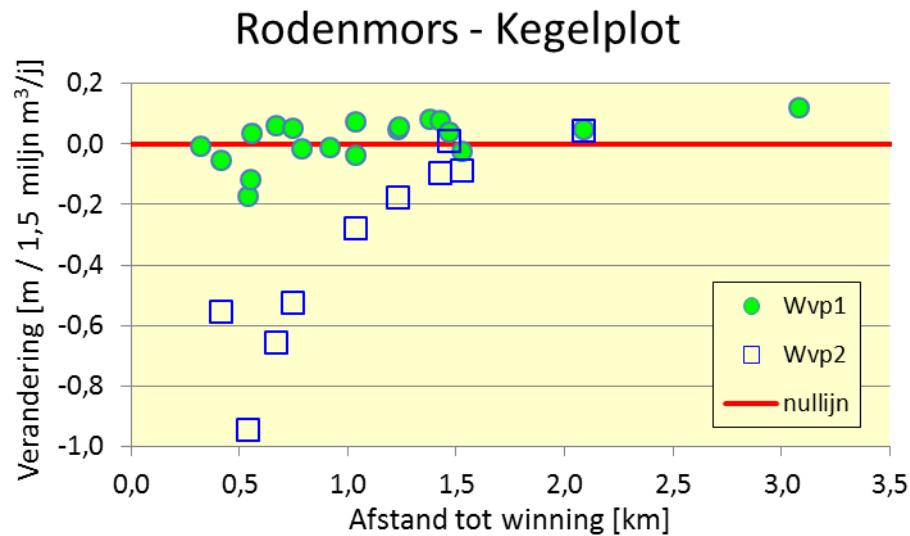
Om het effect van de van de winning Rodenmors en de wateraanvoer statistisch te kunnen reconstrueren, zijn in 2005 tijdreeksmodellen afgeleid van 29 grondwaterstandreeksen [Bagelaar, 2005]. Het betreft 19 reeksen van peilfilters in het 1^e watervoerende pakket en 10 reeksen van peilfilters in het 2^e watervoerende pakket. Afhankelijk van de meetreekslengte omvatte het model maximaal de periode januari 1990 t/m december 2004 en minimaal de periode november 1995 t/m december 2004. Elke modelperiode omvatte daarmee minstens 3,5 jaar vóór de start van wateraanvoer en winning en loopt door tot 5,5 jaar ná die start.

Bij het modelleren van een grondwaterstandreeks zijn als invoerreeksen gehanteerd: (1) het potentieel neerslagoverschot, (2) de winning Rodenmors en (3) de aanvoer van oppervlaktewater, apart uitgesplitst naar zomer- en winteraanvoer.

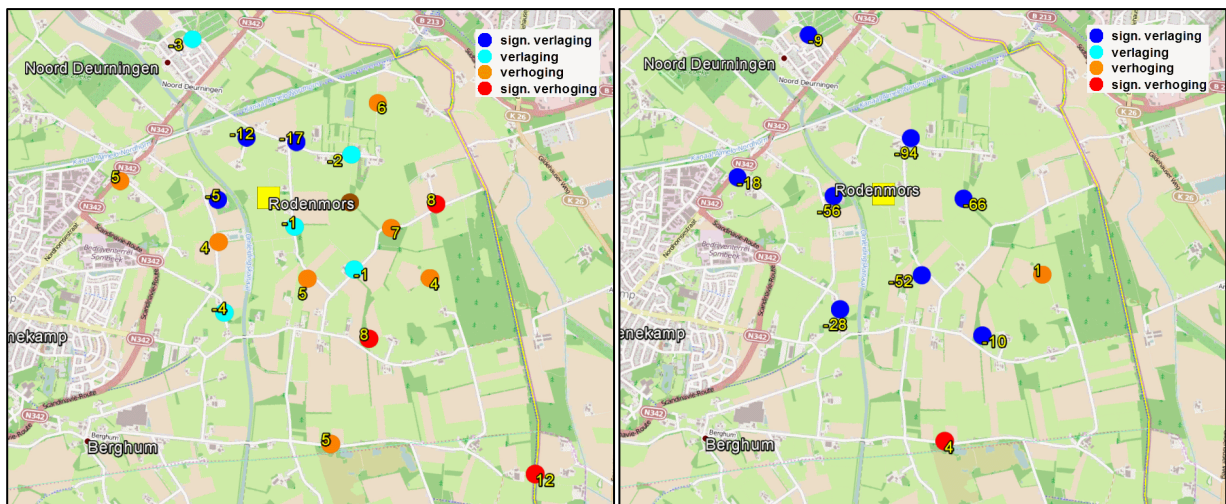
Resultaten tijdreeksanalysestudie

De belangrijkste resultaten van de tijdreeksanalyse zijn weergegeven in de kegelplot van figuur 2.13, waarbij de geschatte verlaging bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar tweedimensionaal is uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. De resultaten zijn ook ruimtelijk weergegeven in figuur 2.14.

Figuur 2.13: Kegelplot van winning Rodenmors, waarbij de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar is uitgezet tegen de afstand van de peilbuis tot het zwaartepunt van de winning.



Figuur 2.14: Ruimtelijke presentatie van de met tijdreeksanalyse geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand (in cm) bij een winning van 1,5 miljoen m³/jaar, zowel in het 1^e watervoerende pakket (links) als in het 2^e watervoerende pakket (rechts).



In het 2^e watervoerende pakket is een duidelijke verlagingkegel waar te nemen, die zich uitstrekt tot 1,5 à 2 km afstand. De maximaal waargenomen verlaging bedraagt 94 cm, op 540 m van het zwaartepunt van de winning. De verlaging van de dichtst bij de winning gemeten grondwaterstand in het 2^e watervoerende pakket (56 cm) wijkt af van het beeld van die verlagingkegel. Dit kan er op wijzen dat het betreffende filter zich in een deel van het 2^e watervoerende pakket bevindt dat enigszins is afgescheiden van de rest van dat watervoerende pakket door een lokale afscheidende laag. Een andere optie is dat er daar water uit het Omleidingskanaal infiltreert (de betreffende peilbuis bevindt zich namelijk slechts enkele tientallen meters westelijk van het Omleidingskanaal), zodat de verlagingen enigszins worden tegengegaan.

In het 1^e watervoerende pakket is geen duidelijke verlagingkegel waar te nemen. Er zijn slechts voor drie grondwaterstandreeksen verlagingen aangetoond in dit pakket. Deze bedragen respectievelijk 5, 12 en 17 cm. De overige geschatte veranderingen van de grondwaterstand door de winning schommelen rond 0 cm. De dichtst bij de winning gelegen grondwaterstand in het 1^e

watervoerende pakket (B29A0163, filter 1) is niet beïnvloed door de winning. Dit zal veroorzaakt zijn doordat de betreffende peilbuis zich pal naast een belangrijke infiltratiebuis bevindt.

Van de 12 geanalyseerde grondwaterstandreeksen met filter in het 1^e watervoerende pakket, bleken er 10 statistisch significant gerelateerd zijn aan de wateraanvoer in de zomer (en één van deze is ook nog statistisch significant gerelateerd aan de wateraanvoer in de winter). In de zomers van 2003 en 2004 (toen de winning maximaal was) bleken deze grondwaterstanden gemiddeld tussen circa 10 en 30 cm zijn verhoogd door de wateraanvoer. Op de twee lokaties in het wateraanvoergebied waar verlagingen in het 1^e watervoerende pakket door de winning zijn aangetoond, bleek de zomerse wateraanvoer in 2003 en 2004 tot een zodanige compensering te leiden, dat netto nog slechts een gemiddelde verlaging van circa 5 cm resteerde. In een enkele zomermaand was er door de wateraanvoer zelfs een netto verhoging van enkele cm. En op de lokaties waar geen verlagingen in het 1^e watervoerende pakket door de winning zijn aangetoond, ging de zomerse wateraanvoer nog verder dan het compenseren van een eventuele verlaging door de winning, aangezien daar de grondwaterstand gemiddeld 10 tot 30 cm werd verhoogd.

Gebruik van verlagingsbeeld als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel

Alleen in het 2^e watervoerende pakketten is er sprake van een duidelijke verlagingskegel door de winning. In het 1^e watervoerende pakket is geen duidelijke verlagingskegel waar te nemen en zijn er zijn slechts voor drie grondwaterstandreeksen verlagingen aangetoond. Mede gezien de goede ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters zijn deze resultaten in principe bruikbaar te achten als validatie- of ijkset voor een grondwatermodel. Ook de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is hoog te achten, aangezien er sprake is van een eenvoudige bodemopbouw. Er zal alleen wel op passende wijze rekening moeten worden gehouden met de volgende punten:

- Bij het modelleren van een grondwaterstandreeks zijn als invoerreeksen gehanteerd: (1) het potentieel neerslagoverschot, (2) de winning Rodenmors en (3) de aanvoer van oppervlaktewater, apart uitgesplitst naar zomer- en winteraanvoer. Maar aangezien de winning en de wateraanvoer vrijwel gelijktijdig zijn gestart is het mogelijk dat hun geschatte invloeden enigszins gecorreleerd zijn, vooral daar waar de winning weinig invloed heeft (zoals in het 1^e watervoerende pakket). Waar de winning veel invloed heeft, zal dat minder spelen. De som van beide geschatte invloeden zal vermoedelijk wel steeds redelijk dicht bij de waarheid liggen. Vermoedelijk dient het valideren- of ijken daarom ook rekening te houden met de invloed van de wateraanvoer.
- Met de niet-lineaire invloed van de wateraanvoer (invloed zal 's zomers anders zijn dan 's winters) is zoveel mogelijk rekening gehouden door daarvoor twee invoerreeksen te gebruiken in het tijdreeksmodel, namelijk een reeks met alleen de zomeraanvoer (in m³/maand, waarbij deze 0 is in elke maand buiten de zomer) en een reeks met alleen de winteraanvoer (in m³/maand, waarbij deze 0 is in elke maand buiten de winter).
- De geschatte invloeden hebben betrekking op een winningsomvang van 1,5 miljoen m³/jaar. Het is lastig deze schattingen te extrapoleren naar een andere winningsomvang, omdat er sprake kan zijn van interactie tussen de invloeden van winning en wateraanvoer.
- De geschatte verandering van de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket is in 11 gevallen positief, zij het meestal niet statistisch significant (in 8 van de 11 gevallen). Het is fysisch uiteraard onlogisch dat de winning tot een verhoging van de grondwaterstand leidt, wat onderstreept dat bij het valideren of ijken van een grondwatermodel aan deze resultaten terdege rekening moet worden gehouden met de standaardfouten van de schattingen en met hun onderlinge correlaties (zie hiervoor ook § 2.4).

- Er moet goed rekening worden gehouden met de ligging van de peilfilters ten opzichte van waterlopen, aangezien de invloed van de winning nabij een waterloop geringer is.

Eerste verkenning van de mogelijkheden het beeld te vertalen naar bodemparameters

Om te verkennen of er uit de resultaten van de tijdreeksanalyse bodemparameters af te leiden zijn, zijn de resultaten in MLU ingevoerd. De berekeningen zijn uitgevoerd met de onttrekking geconcentreerd in het zwaartepunt van de winputten.

Het was hier al op voorhand duidelijk dat de afwijkende schatting voor het dichtstbij gelegen peilfilter de interpretatie zou bemoeilijken. Daarom is ook een berekening uitgevoerd zónder die afwijkende schatting. Dit gaf de in tabel 2.6 vermelde resultaten.

Tabel 2.6: Resultaten van een verkennende exercitie om de bodemparameters te schatten uit het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld. Tevens zijn de waarden vermeld volgens het Vitens-factsheet. Bij elke schatting is tussen haakjes de standaardfout vermeld.

	c-drain [d]	kD1 [m ² /d]	c [d]	kD2 [m ² /d]	RMSE [m]
Factsheet		150	200-400	300-600	
Eerste berekening	26 (60)	334 (34898)	958 (244)	718 (229)	,1053
Idem, zonder afwijkende schatting	23 (23)	363 (16684)	910 (57)	231 (63)	,0618

De afwijkende schatting voor het dichtstbij gelegen peilfilter blijkt inderdaad een forse invloed te hebben op de RMSE. Toch lijken de kD-waarden redelijk in lijn met de te verwachten waarden. Dat geldt niet voor de c-waarden. De drainageweerstand is onwerkelijk laag, en dat wordt waarschijnlijk gecompenseerd door een te hoge c-waarde. Het weglaten van de schatting voor het dichtstbij gelegen meetpunt verlaagt wel de RMSE, maar zorgt niet voor een hogere drainageweerstand. Daarnaast zakt de kD2 weg tot een zeer lage waarde.

De zeer lage drainageweerstand wordt veroorzaakt doordat met de tijdreeksanalyse nauwelijks verlagingen berekend worden in het ondiepe pakket. Gemiddeld over alle meetpunten is er zelfs sprake van een lichte stijging. Het is logisch dat dit leidt tot een extreem lage drainageweerstand. Het voert te ver om in dit verband een exacte diagnose te stellen. Maar omdat waterwinning en wateraanvoer ongeveer tegelijkertijd gestart zijn, is het mogelijk dat de schattingen van beide invloeden enigszins verstrengeld zijn geraakt, vooral in het 1^e watervoerende pakket, waar de invloed van de winning toch al gering is.

Het is niet mogelijk om louter uit deze verkennende analytische exercitie te concluderen of het verlagingsbeeld al of niet geschikt is als ijkset.

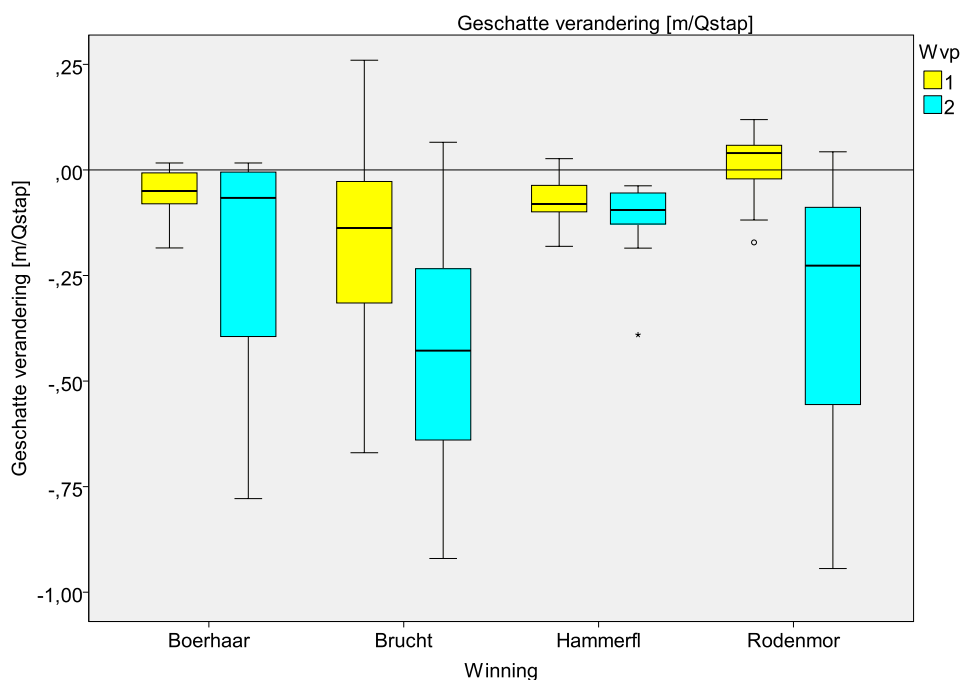
2.2 Beschikbaar gestelde verlagingsbeelden

In het voorgaande concludeerden we dat vier van de zes beschouwde verlagingsbeelden vermoedelijk bruikbaar zijn te achten om een grondwatermodel te valideren en/of te ijken. Dit betreft de verlagingsbeelden van de drinkwaterwinningen Boerhaar, Brucht, Hammerflieer en Rodenmors. Om het valideren en/of ijken mogelijk te maken hebben we de relevante gegevens van deze vier verlagingsbeelden samengebracht in een Excelbestand (*Gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx*). Het bestand is meegeleverd als digitale bijlage van dit rapport. Bijlage 2 geeft een beschrijving van het bestand.

2.3 Vergelijken van statistische kenmerken van de verlagingsbeelden

Ter vergelijking van de vier bruikbaar beoordeelde verlagingsbeelden toont figuur 2.15 per combinatie van winning en watervoerend pakket de boxplot van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning. Een boxplot vat de belangrijkste kenmerken samen van de verzameling geschatte stationaire veranderingen door de winning, waarbij elke schatting is afgeleid uit tijdreeksanalyse van een grondwaterstandreeks, gemeten in een peilfilter. De box loopt van het 25- naar het 75-percentiel en de horizontale streep in de box is de mediaan. De stationaire verandering is hier uitgedrukt als m/Q_{stap} , waarin Q_{stap} de winningsgrootte is waarvoor de stationaire verandering is afgeleid. Bij Boerhaar bedraagt Q_{stap} 0,6 miljoen m^3/j , bij Brucht 3,8, bij Hammerflieer 1,6 en bij Rodenmors 1,5.

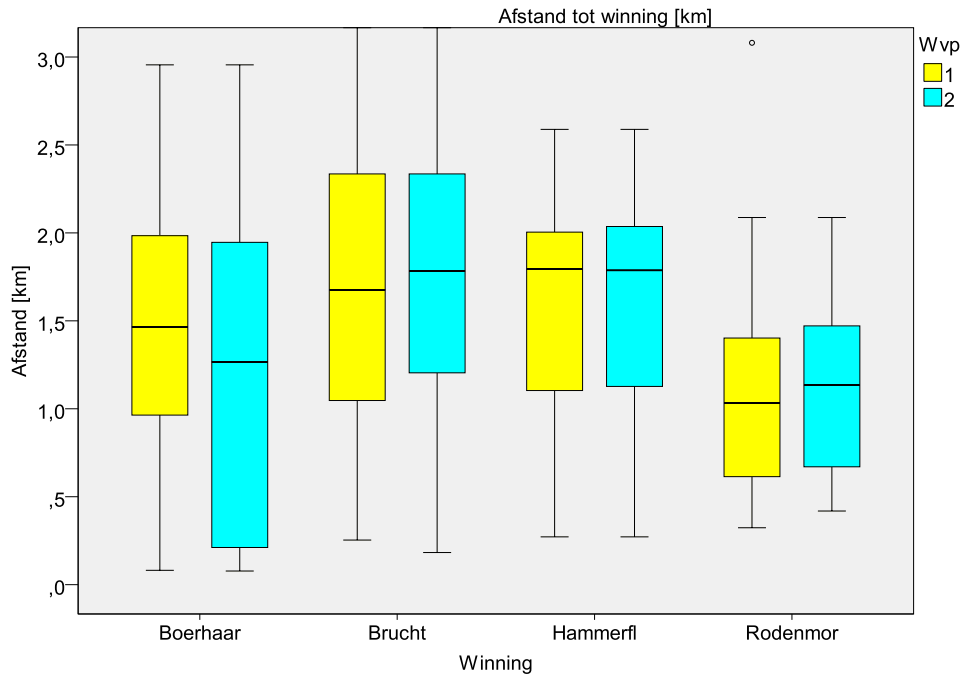
Figuur 2.15: Boxplot van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning, per combinatie van winning en watervoerend pakket. De stationaire verandering is hier uitgedrukt als m/Q_{stap} , waarin Q_{stap} de winningsgrootte is waarvoor de stationaire verandering is afgeleid. Bij Boerhaar bedraagt Q_{stap} 0,6 miljoen m^3/j , bij Brucht 3,8, bij Hammerflieer 1,6 en bij Rodenmors 1,5.



Uit figuur 2.15 blijkt dat de grootste verlagingen zijn geschat voor de winning Brucht, maar daar is de winningsgrootte waar de verlagingen voor gelden dan ook het grootst. Het is opvallend dat de geschatte veranderingen in het 2^e watervoerende pakket bij de winningen Boerhaar en Roden-

mors relatief groot zijn, vergeleken bij die van de winning Brucht (die betrekking hebben op een zesmaal, respectievelijk tweeëneenhalf maal grotere winning) en die van de winning Hammerfl. Hier zal meespelen dat bij de winningen Boerhaar en Rodenmors een groter deel van de beschouwde peilfilters in het 2^e watervoerend pakket op korte afstand van de winning ligt dan bij Brucht en Hammerfl het geval is, zoals te zien in figuur 2.16.

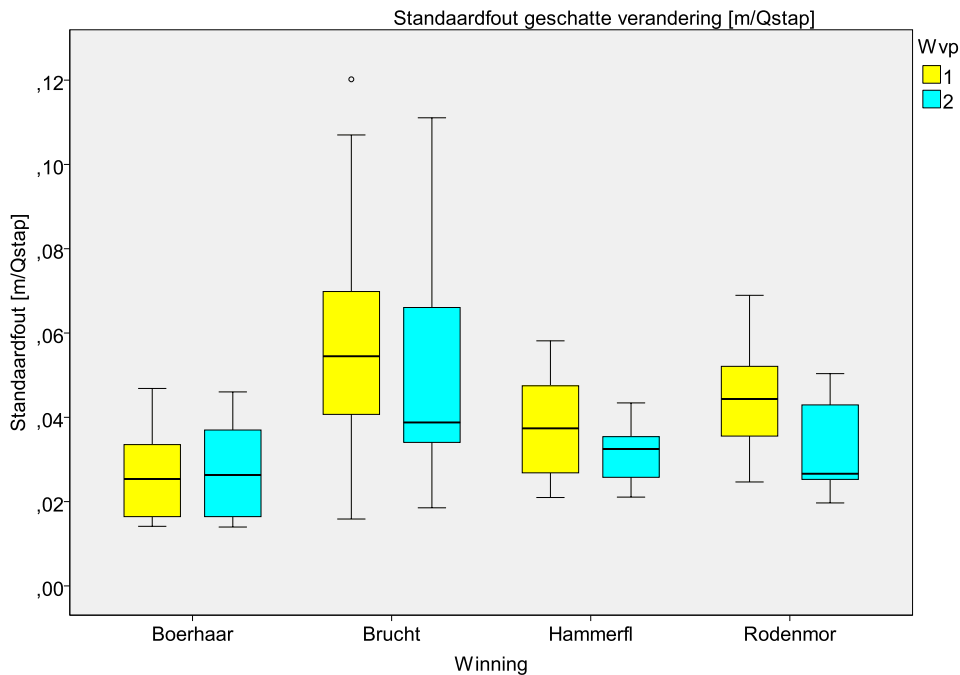
Figuur 2.16: Boxplot van de afstand van het beschouwde peilfilter tot de winning, per combinatie van winning en watervoerend pakket.



Precisies van de verlagingsbeelden

Een geschikte maat voor de precisie van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door een winning is zijn standaardfout. Figuur 2.17 toont per combinatie van winning en watervoerend pakket de boxplot van de standaardfout, weer uitgedrukt als m/Q_{stap} , waarin Q_{stap} de winningsgrootte is waarvoor de stationaire verandering is afgeleid.

Figuur 2.17: Boxplot van de standaardfout van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning, per combinatie van winning en watervoerend pakket. De standaardfout is hier uitgedrukt als m/Q_{stap} , waarin Q_{stap} de winningsgrootte is waarvoor de stationaire verandering is afgeleid. Bij Boerhaar bedraagt Q_{stap} 0,6 miljoen m^3/j , bij Brucht 3,8, bij Hammerflie 1,6 en bij Rodenmors 1,5.



Figuur 2.17 suggereert dat het niveau van de standaardfout toeneemt met de winningsgrootte waarvoor de stationaire verandering is afgeleid (Q_{stap}). Het niveau van de standaardfout is namelijk het laagst voor Boerhaar (waar Q_{stap} 0,6 miljoen $m^3/jaar$ is) en het hoogst voor Brucht (waar Q_{stap} 3,8 miljoen $m^3/jaar$ is). Maar er zullen meerdere factoren invloed hebben op het niveau van de standaardfout en dan vooral:

- de mate waarin de relatie met het neerslagoverschot kan worden beschreven met het tijdreeksmodel. De beschrijving wordt doorgaans slechter naarmate de seizoensmatige fluctuatie van de grondwaterstand groter is;
- de mate waarin de relaties met andere invloedsfactoren kunnen worden beschreven met het tijdreeksmodel. Zo is het van belang of er voldoende gegevens van alle relevante invloedsfactoren beschikbaar zijn, met ook voldoende detaillering. Verder is van belang of er wellicht niet-lineaire effecten spelen, aangezien die moeilijk zijn te verdisconteren met een tijdreeksmodel.

Tabel 2.7 vermeldt per combinatie van winning en watervoerend pakket de mediane standaardfout van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning en tevens de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van een geschatte verandering die een standaardfout heeft op het niveau van de mediaan.

Tabel 2.7: Mediane standaardfout van de geschatte stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning (bovenste deeltabel) en de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van een geschatte verandering die een standaardfout heeft op het niveau van de mediaan (onderste deeltabel).

Mediaan van standaardfout [m]					
Wvp	Boerhaar	Brucht	Hammerflief	Rodenmors	Alle
1	0,025	0,054	0,037	0,044	0,040
2	0,026	0,039	0,032	0,027	0,033
Alle	0,026	0,048	0,033	0,038	0,037

Breedte 95%-betr.heidsinterval van schatting met mediane standaardfout [m]					
Wvp	Boerhaar	Brucht	Hammerflief	Rodenmors	Alle
1	0,10	0,22	0,15	0,18	0,16
2	0,11	0,16	0,13	0,11	0,13
Alle	0,10	0,19	0,13	0,15	0,15

Uit tabel 2.7 blijkt dat het niveau van de standaardfout van de geschatte verandering van de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket doorgaans hoger ligt dan die in het 2^e watervoerende pakket. Dit zal komen doordat er meer invloeden zijn op de grondwaterstand in het 1^e watervoerende pakket, waardoor die grondwaterstand moeilijker is te beschrijven met een tijdreeksmodel.

Verder valt op uit tabel 2.7 dat de breedte van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van een geschatte verandering die een standaardfout heeft op het niveau van de mediaan doorgaans redelijk groot is. Afhankelijk van de combinatie van winning en watervoerend pakket bedraagt deze tussen de 10 en 22 cm. Er is dus doorgaans sprake van relevante onzekerheden, wat betekent dat een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld hooguit als een benadering kan worden gezien van het werkelijke verlagingsbeeld.

Maar de onzekerheid kan ook nóg groter zijn. We mogen er namelijk pas van uitgaan dat een 95%-betrouwbaarheidsinterval met 95%-betrouwbaarheid de *werkelijke* stationaire verandering van de grondwaterstand door de winning zal omvatten, als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- de residuën van het tijdreeksmodel vormen ‘witte ruis’, wat inhoudt dat ze zijn op te vatten als onderling onafhankelijke trekkingen uit dezelfde normale kansverdeling;
- de vorm van het tijdreeksmodel is correct, in de zin dat het de dynamische relaties met de invloedsfactoren op de juiste wijze beschrijft.

Aan de eerste voorwaarde zal doorgaans worden voldaan, aangezien dat empirisch is geverifieerd bij de modelontwikkeling. Maar aan de tweede voorwaarde zal niet altijd worden voldaan, bijvoorbeeld doordat de meetgegevens van invloedsfactoren de benodigde detaillering missen, of doordat er ook niet-lineaire relaties optreden.

2.4 Over het gebruiken van een afgeleid stationair verlagingsbeeld

Is een met tijdreeksanalyse afgeleid verlagingsbeeld op te vatten als het resultaat van een groot-schalige pompproef, waarbij stationariteit is bereikt? En kunnen we met dit beeld op dezelfde wijze als bij een pompproef schattingen van bodemparameters afleiden? Om deze vragen te kunnen beantwoorden gaan we hier na in welke mate een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld te vergelijken is met een stationair verlagingsbeeld dat is afgeleid met een pompproef.

Verlagingsbeeld pompproef versus verlagingsbeeld afgeleid met tijdreeksanalyse

Een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld zal in veel gevallen een grote ruimtelijke omvang hebben, doordat het is afgeleid uit de systeemreacties op een relatief grote verandering van de winning. Maar bij een pompproef is die grootschaligheid vaak niet realiseerbaar, door allerlei praktische beperkingen. Verder is er een redelijke garantie dat met tijdreeksanalyse een stationair verlagingsbeeld wordt afgeleid, aangezien dat inherent is aan de achterliggende statistische methode. Die garantie is er niet bij een pompproef en de ervaring heeft dan ook geleerd dat meerdere pompproeven té kort waren om een stationaire toestand te kunnen bereiken.

Het vermoedelijk belangrijkste verschil tussen een verlagingsbeeld dat is afgeleid met een pompproef en een verlagingsbeeld dat is afgeleid met tijdreeksanalyse, is dat het eerste beeld geen relevante onzekerheden zal hebben, terwijl het tweede beeld relevante schattingsonzekerheden kan hebben (zie daarvoor § 2.3). Bij tijdreeksanalyse van een grondwaterstandreeks wordt de verlaging door de winning immers niet gemeten, maar wordt deze uit de reeks gefilterd met een complex statistisch algoritme, dat tracht alle andere invloeden op de grondwaterstand zo goed mogelijk te verdisconteren.

Als de schattingsonzekerheden van het met tijdreeksanalyse afgeleide verlagingsbeeld onderling onafhankelijk zijn en tevens van vergelijkbare grootte zijn, dan is er slechts sprake van een willekeurige ruis, die het afgeleide verlagingsbeeld minder scherp maakt. Als we dat verlagingsbeeld dan bijvoorbeeld met MLU uitwerken naar bodemparameters, zal die onzekerheid de standaardfouten van de geschatte bodemparameters vergroten, zodat de onzekerheid automatisch op de juiste wijze wordt verdisconteerd.

Maar de onzekerheden van de geschatte verlagingen kunnen wel degelijk verschillen van grootte, zodat in feite een gewogen optimalisatie meer op zijn plaats zou zijn. Dit houdt in dat een verlaging meer wordt meegewogen bij het schatten van bodemparameters, naarmate zijn onzekerheid minder is. Verder is het aannemelijk dat de schattingsonzekerheden van het met tijdreeksanalyse afgeleide verlagingsbeeld onderling afhankelijk zijn. Het is namelijk zeer denkbaar dat de schattingen voor in dezelfde omgeving gelegen peilfilters min of meer dezelfde vertekening hebben, bijvoorbeeld door het onvolledig verdisconteren van niet-lineaire relaties, een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning, of andere lastig te modelleren invloeden op de grondwaterstand. Deze onderlinge afhankelijkheid van de schattingsonzekerheden kan er toe leiden dat de geschatte verlagingskegel al dan niet deelsgewijs in de verticaal is verschoven ten opzichte van de 'werkelijke' verlagingskegel. Om dit goed te kunnen verdisconteren bij het vertalen van een afgeleide verlagingskegel naar bodemparameters, moet de onderlinge afhankelijkheid van de schattingsonzekerheden bekend zijn. Die kan dan bijvoorbeeld worden meegenomen door de bodemparameters te schatten via Monte Carlo-simulatie, met herhaald gecorreleerd trekken uit de kansverdelingen van de geschatte verlagingen van de grondwaterstand. Maar die onderlinge afhankelijkheid is niet bekend. We zullen deze dan moeten ramen op basis van expertise, of een soort 'worst-case'-scenario uitwerken, met volledige onderlinge afhankelijkheid.

Een ander belangrijk verschil tussen een verlagingsbeeld dat is afgeleid met een pompproef en een verlagingsbeeld dat is afgeleid met tijdreeksanalyse, is dat de pompproef doorgaans zal voldoen aan de voorwaarden van een proefopzet ('experimental design'), wat inhoudt dat:

1. vóóraf is afgeleid welke instellingen nodig zijn om de kans op het verkrijgen van de gewenste informatie te optimaliseren (gegeven de beschikbare mogelijkheden en middelen);
2. vóóraf de proefperiode en/of duur zódanig is geselecteerd dat ongewenste andere invloeden kunnen worden vermeden, of dat daarvoor kan worden gecorrigeerd;
3. vóóraf is afgeleid hoe, waar en wanneer de reacties van het systeem moeten worden gemeten om de kans op het verkrijgen van de gewenste informatie te optimaliseren.

Bij een pompproef is dus vóóraf een geschikte opzet ontworpen, om de kans op het verkrijgen van de gewenste informatie te optimaliseren en om geen vertekening te kunnen krijgen door andere invloeden. Verder worden onvermijdbare invloeden (zoals neerslag) goed geregistreerd, zodat daarvoor kan worden gecorrigeerd en worden de peilfilters strategisch geplaatst, zodat ze representatieve metingen geven. Ook zullen er geen relevante niet-lineaire effecten spelen, aangezien alles kleinschalig en beheerst blijft. De bij een pompproef bepaalde verlagingen zullen daarmee doorgaans zonder relevante onzekerheid zijn.

Maar als we een verlagingsbeeld afleiden met tijdreeksanalyse van grondwaterstanden, zoals bij de zes in § 2.1 beschreven gevallen, dan is er geen sprake van een proefopzet. Dit houdt in dat:

1. er geen garantie is op het verkrijgen van de gewenste informatie;
2. er vertekening kan optreden door andere ongewenste andere invloeden;
3. er vertekening kan optreden door ongelukkig gesitueerde peilfilters, door onvolledige meetreeksen, of door kwalitatief slechte meetreeksen, aangezien het meetproces niet specifiek is geoptimaliseerd op het verkrijgen van een bruikbaar verlagingsbeeld.

ad 2) Het feit dat er vertekening kan optreden door andere invloeden, komt doordat een langjarige periode wordt geanalyseerd, waarbinnen allerlei invloeden kunnen spelen en er zelfs systeemveranderingen kunnen optreden. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als er een waterbeheersplan is gerealiseerd om de effecten van de winning te verminderen, zoals we zagen voor Boerhaar, Hammerflie en Rodenmors (§ 2.1). Ook is het denkbaar dat de winning binnen die langjarige periode tot een tijdelijk (seizoensmatig) en/of lokaal droogvallen heeft geleid van het waterlopenstelsel. Verder kan er sprake zijn geweest van een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning. Het is moeilijk om dit soort situaties naadloos door het tijdreeksmodel te laten verdisconteren, zodat er vertekeningen van geschatte invloeden kunnen optreden. En als de opgetreden veranderingen leiden tot niet-lineariteiten, kan de met tijdreeksanalyse afgeleide invloed van de winning niet meer voor elke situatie gesuperponeerd of lineair geëxtrapoleerd worden.

ad 3) Bij de bespreking van het verlagingsbeeld van de winning Boerhaar (§ 2.1.1) zagen we al dat een peilbuis die vlak naast een waterloop is gesitueerd een afwijkend resultaat beeld kan geven. Maar ook het meettijdstip kan leiden tot vertekening van de invloed van de winning. Tot circa 2004 omvatten de meeste grondwaterstandreeksen namelijk halfmaandelijke metingen, waarbij doorgaans op werkdagen overdag werd gemeten. Maar in veel gevallen is de winning dan bovengemiddeld en daarmee is de meting niet representatief voor de gemiddelde onttrekking uit de beschouwde periode. Als de tijdreeks veel van dergelijke metingen bevat, zal de invloed van de winning worden overschat.

Conclusies

De grote voordelen van een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld ten opzichte van een stationair verlagingsbeeld dat is afgeleid met een pompproef, zijn dat het beeld doorgaans een grotere ruimtelijke omvang heeft en dat er meer garantie is dat het is afgeleid voor een stationaire situatie. Maar een met tijdreeksanalyse afgeleid stationair verlagingsbeeld kan ook een aantal beperkingen vertonen, waaronder een niet verwaarloosbare schattingsonzekerheid. Als aannemelijk is dat die beperkingen relevant zijn, zal daar specifiek rekening mee moeten worden gehouden bij het gebruik van het beeld als validatie- of ijk materiaal van een grondwatermodel. Van belang is ondermeer of er sprake was van lastig te modelleren invloedsfactoren en hoe daar rekening mee is gehouden bij de tijdreeksanalyse. Als er bijvoorbeeld over de beschouwde periode sprake was van een zwaartepuntsverplaatsing, is een mogelijke aanpassing om de resultaten van nabij de winning niet mee te nemen.

Als voor een bepaalde winning kan worden aangenomen dat de beperkingen van het met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeeld gering zijn, dan zijn de gebruikelijke analytische en numerieke methoden om pompproefresultaten te vertalen naar bodemparameters in principe ook geschikt om het afgeleide verlagingsbeeld te vertalen naar bodemparameters. Maar er kunnen wel aanpassingen nodig zijn van de optimalisatieroutine, om te verdisconteren dat de schattingsonzekerheden verschillende groottes hebben en/of dat ze onderling afhankelijk zijn.

3 Beoordelen haalbaarheid verlagingsbeelden

In dit hoofdstuk beoordelen we voor elk van de 16 Overijsselse drinkwaterwinningen waarvoor geen met tijdreeksanalyse afgeleid verlagingsbeeld beschikbaar is, in hoeverre de historische gegevens over de winning en de grondwaterstand in de omgeving geschikt zijn om een dergelijk beeld af te leiden. Verder beoordelen we de potentie van dat beeld als validatie- of ijk materiaal voor een grondwatermodel.

3.1 Methode van beoordelen

Om te kunnen beoordelen of de historische ontwikkelingen van de grondwaterwinning en de gegevens daarover geschikt zijn om een verlagingsbeeld af te leiden, zijn vooral de volgende aspecten van belang:

1. de mate waarin en de snelheid waarmee de winning is veranderd van grootte;
2. de lengte en de kwaliteit van de grondwaterstandreeksen van het meetnet rond de winning, waarbij vooral de perioden vóór en ná een grote wijziging van belang zijn;
3. de ruimtelijke dichtheid, zowel in de horizontaal als in de verticaal (bij meerdere watervoerende pakketten), van het stelsel peilfilters waarvan grondwaterstandreeksen beschikbaar zijn die voldoende kansen bieden om met tijdreeksanalyse tot een schatting van de stationaire verlaging te komen;
4. de beschikbaarheid van gegevens over andere relevante invloedsfactoren die mogelijk bij de tijdreeksanalyse verdisconteerd moeten worden;
5. de geohydrologische situatie. Het gaat dan met name om de responstijd van de grondwaterstand op de winning en om de te verwachten stationaire verlaging door de winning, op verschillende afstanden en in verschillende watervoerende pakketten (indien van toepassing).

3.1.1 Keuze voor empirische aanpak bij het beoordelen

Het voor elke grondwaterwinning beoordelen van zowel de historische ontwikkelingen als de gegevens daarover op elk van bovenstaande aspecten afzonderlijk is zeer bewerkelijk, ondermeer doordat daarvoor eerst uitvoerige modelberekeningen moeten worden gedaan. Wij hebben daarom gekozen voor een empirische aanpak, die in staat stelt de uitwerking van een combinatie van deze aspecten simultaan te beoordelen. Onze aanpak komt er op neer dat voor elke meetreeks van de grondwaterstand die daarvoor voldoende metingen bevat, wordt bepaald wat het gemiddelde verschil is tussen twee perioden met duidelijk verschillende onttrekkingsniveaus. Als blijkt dat dit leidt tot een ruimtelijk duidelijk onderscheidbare verlagingskegel en als er ook voldoende gegevens beschikbaar zijn, kan de haalbaarheid om met tijdreeksanalyse een stationair verlagingsbeeld af te leiden hoog worden geacht.

3.1.2 Stappen van de empirische aanpak

De empirische aanpak komt voor elk van de 16 drinkwaterwinningen afzonderlijk neer op het uitvoeren van de onderstaande stappen.

1. Selecteer twee of drie bij voorkeur meerjarige perioden die onderling sterk verschillen in het onttrekkingsniveau van de winning.
2. Selecteer alle grondwaterstandreeksen die voldoen aan de volgende criteria:

- a. de betreffende peilbuis bevindt zich binnen 7 kilometer van het zwaartepunt van de winning. We nemen hierbij aan dat peilbuizen op grotere afstand niet of nauwelijks meer bijdragen aan de detectie van een verlagingskegel. Verder neemt het risico op verstrengeling van invloeden van meerdere winningen toe met de afstand tot de winning;
 - b. voor minstens twee van de in stap 1 geselecteerde perioden is de meetreeks voldoende homogeen bemeten. Dit houdt in dat er metingen beschikbaar zijn van de grondwaterstand in elk van de drie gelijke deelperioden waarin de betreffende periode kan worden opgedeeld. Dus als bijvoorbeeld in stap 1 de twee perioden 1980 t/m 1982 en 2008 t/m 2013 zijn onderscheiden, dan voldoet een grondwaterstandreeks aan het criterium van homogeniteit als deze grondwaterstandmetingen bevat in minstens elk van de volgende deelperioden: 1980, 1981, 1982, 2008 t/m 2009, 2010 t/m 2011 en 2012 t/m 2013.
3. Zet elke geselecteerde meetreeks om naar een reeks maandwaarden, door voor elke maand de mediaan te nemen van de meetwaarden in die maand. Door de mediaan te nemen wordt een eventuele vertekening door uitschieters gereduceerd.
 4. Bepaal per combinatie van twee geselecteerde perioden voor elke geselecteerde meetreeks die in deze twee perioden voldoet aan bovenstaand criterium 2b het gemiddelde verschil van de grondwaterstand (zie onderstaand tekstkader).

Bepalen gemiddelde verschil van de grondwaterstand over twee perioden

Het gemiddelde verschil is bepaald met de Hodges-Lehmann-schatter [Hodges and Lehmann, 1963]. Dit is de mediaan van alle verschillen die kunnen worden bepaald tussen de waarden van de twee perioden. Het is een robuuste schatter, die een eventuele vertekening door uitschieters tegengaat en die bovendien preciezer is dan het verschil van de medianen van de twee perioden.

5. Zet in een kegelplot voor elke combinatie van twee geselecteerde perioden het gemiddelde verschil uit tegen de afstand van de betreffende peilbuis tot het zwaartepunt van de winning en maak daarbij onderscheid naar het watervoerend pakket waarin het peilfilter zich bevindt.
6. Ga per watervoerend pakket na of het verloop van het gemiddelde verschil met de afstand tot de winning duidt op een verlagings-/verhogingskegel. Toets daartoe ter objectivering eenzijdig of de geschatte helling van het volgende regressiemodel statistisch significant is (bij 95% betrouwbaarheid):

$$V_i = b_0 + b_1 \cdot \log(A_i) + e_i$$

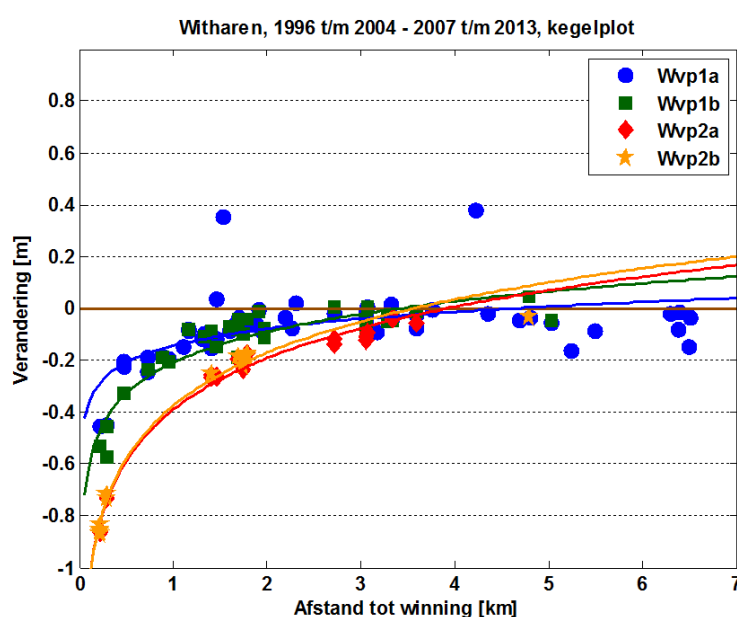
waarin V het gemiddelde verschil (de Hodges-Lehmann-schatting), b_0 het geschatte intercept, b_1 de geschatte helling, A de afstand van de betreffende peilbuis tot de winning, e het modelresidu en i het volgnummer van de betreffende meetreeks. Door eenzijdig te toetsen wordt rekening gehouden met het teken van de helling dat verwacht mag worden als de winning invloed heeft, gegeven het teken van het verschil van de gemiddelde onttrekkingen van de twee perioden.

7. Als voor een combinatie van twee geselecteerde perioden voor één of meer van de watervoerende pakketten de geschatte helling statistisch significant is, ga dan na of er voldoende meetreeksen (minstens 5) beschikbaar zijn die: i) de betreffende perioden omvatten, ii) doorgaans minstens halfmaandelijks zijn bemeten, iii) geen hiaat van meer dan een jaar vertonen, iv) afkomstig zijn van peilfilters binnen een straal van 3 km van de winning (anders kunnen er geen verlagingen van nabij de winning worden geschat). Als elk van deze vier voorwaarden

opgaat, concludeer dan dat het voor de betreffende winning haalbaar is een verlagingsbeeld te reconstrueren middels tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen.

Ter illustratie van deze aanpak toont figuur 3.1 de kegelplot zoals deze is afgeleid voor de winning Witharen, voor het verschil van de perioden 1996 t/m 2004 en 2007 t/m 2013. In elk van de vier watervoerende pakketten is een statistisch significante verlagingskegel gedetecteerd.

Figuur 3.1: Kegelploot voor de winning Witharen, voor het verschil van de perioden 1996 t/m 2004 en 2007 t/m 2013. In de tweede periode bedroeg de winning 2,5 miljoen m³/jaar meer dan in de eerste periode. Een punt vertegenwoordigt de mediaan van alle verschillen die kunnen worden bepaald tussen de maandwaarden van de twee perioden. De grondwateronttrekking is aan de watervoerende pakketten 1b en 2a.



Kanttekeningen bij de empirische aanpak

Er passen nog wel de volgende kanttekeningen bij deze empirische aanpak.

- Er vindt geen correctie plaats voor eventuele verschillen in de meteorologische omstandigheden van de twee vergeleken perioden. De verschillen zullen dan niet alleen bepaald worden door het verschil in onttrekkingsgrootte, maar tevens door het verschil in meteorologische omstandigheden. Maar het is redelijk aannemelijk te achten dat er sprake is van een detecteerbare invloed van de winning, als de verschillen wijzen op een duidelijke ruimtelijke verlagings- / verhogingskegel, die in lijn is met wat verwacht mag worden als de winning invloed heeft, gegeven het teken van het verschil van de gemiddelde onttrekkingen van de twee perioden. Een verschil in de meteorologische omstandigheden van twee perioden zal slechts in heel bijzondere situaties aanleiding geven tot een duidelijk onderscheidbare ruimtelijke verlagings- / verhogingskegel, als we het gemiddelde verschil van de grondwaterstand van twee perioden grafisch uitzetten tegen de afstand tot de winning.
- Er vindt geen correctie plaats voor andere mogelijk relevante invloedsfactoren van de grondwaterstand, zoals andere grondwaterwinningen, ruilverkavelingen, waterhuishoudkundige maatregelen, een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning, etc. Van deze factoren kan de zwaartepuntsverplaatsing bijdragen aan een ruimtelijke verlagings- / verhogingskegel,

maar voor de andere factoren is dat niet aannemelijk. Maar het is ook niet geheel uit te sluiten, zodat het aanbeveling verdient om nader te onderzoeken óf een andere invloedsfactor dan de drinkwaterwinning de ruimtelijke structuur van het gemiddelde verschil van de grondwaterstand van de twee perioden kan verklaren, alvorens een uitgebreide tijdreeksanalysestudie op te starten.

3.2 Verzamelde gegevens voor de empirische aanpak

Om de hiervoor beschreven empirische aanpak mogelijk te maken, zijn de volgende gegevens verzameld voor elk van de te beschouwen drinkwaterwinningen:

1. het factsheet van Vitens, met gegevens over de geohydrologische situatie en over de bodemparameters;
2. meetgegevens en metagegevens van de drinkwaterwinning;
3. meetgegevens en metagegevens van de grondwaterstand in de omgeving;

ad 2) Meetgegevens en metagegevens van de drinkwaterwinningen zijn betrokken bij de Provincie Overijssel en bij Vitens.

De Provincie Overijssel beheert een database van alle vergunde en geregistreerde onttrekkingen, het Landelijk Grondwater Register (LGR). De oudste reeksen starten in 1969, maar de oudste reeksen van Vitenswinningen starten pas in 1976 of 1977. We ontvingen van de Provincie Overijssel uitvoer van deze database, die doorloopt t/m het jaar 2013. Het betreft per onttrekking de metadata, zoals naam vergunninghouder, adres, omschrijving onttrekking, doel onttrekking, X- en Y-coördinaten, filterstelling, watervoerend pakket, etc. Verder bevat het voor de grotere onttrekkingen de winningscijfers op maand-, kwartaal- en jaarbasis, zij het dat tot begin jaren tachtig alleen jaaronttrekkingen zijn geregistreerd. Er zijn gegevens van ruim 500 onttrekkingen beschikbaar, maar de meeste daarvan – ruim 400 (circa 80%) zijn relatief gering van omvang, met een maximale winning van minder dan 0,5 miljoen m³/jaar. En er zijn ruim 60 onttrekkingen met een winning groter dan 1 miljoen m³/jaar. De grootste is die van de drinkwaterwinning Engelse Werk, waar maximaal 12,7 miljoen m³/jaar is onttrokken.

Vitens heeft ons van alle Overijsselse drinkwaterwinningen in Overijssel het historische verloop van de jaarlijkse reinwaterafgifte t/m het jaar 2012 verstrekt. Voor de (inmiddels gestopte) winning Oldenzaal starten deze gegevens in 1940, maar voor de meeste andere oude winningen starten ze pas in 1960 of later, zodat er nog grote hiaten in die reeksen aanwezig zijn.

Om tot zo volledig mogelijke reeksen te kunnen komen, hebben we de gegevens van beide bronnen op jaarbasis samengevoegd, waarbij voor elk jaar de volgende criteria zijn gehanteerd:

- als geen van beide bronnen de onttrekking vermeldt, is de waarde blanco gelaten;
- als één van beide bronnen de onttrekking vermeldt, is die waarde overgenomen;
- als beide bronnen de onttrekking vermelden, is de waarde overgenomen van de Provincie Overijssel (dat betreft namelijk de onttrekking, terwijl Vitens de reinwaterafgifte heeft verstrekt, die doorgaans lager is dan de onttrekking).

Het samenvoegen van cijfers over de onttrekking en reinwaterafgifte in één reeks leidt uiteraard tot enige artificiële variatie, maar wij vinden het voor onze toepassing vooral belangrijk om over zo lange mogelijke winningsreeksen te beschikken. Verder zijn we alleen geïnteresseerd in de grote winningsvariaties en die zullen niet worden vertroebeld door de artificiële variatie.

ad 3) Voor de meetgegevens en metagegevens van de grondwaterstand in de omgeving hebben we gebruik gemaakt van uitvoerbestanden van het Provinciaal Meetnet Grondwaterstanden van Overijssel en de database met grondwaterstanden van Vitens.

Voor elke drinkwaterwinning zijn de grondwaterstandgegevens verzameld van alle peilbuizen die zich binnen een straal van 7 kilometer van de winning bevinden. Elk peilfilter binnen die straal hebben we ingedeeld bij één van de watervoerende pakketten die in het geohydrologische schema van het Vitens-factsheet van de betreffende winning zijn weergegeven. Daartoe hebben we de diepte van de onderkant van elk watervoerend pakket visueel afgeleid uit dat schema (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1: Voor elk van de 16 drinkwaterwinningen de diepte van de onderkant van elk van de daar onderscheiden watervoerende pakketten, zoals door ons visueel afgeleid uit het geohydrologisch schema dat is weergegeven in het Vitens-factsheet. Tevens is weergegeven in welk watervoerend pakket de pompfilters zich bevinden.

Winning	Onderkant watervoerend pakket [m NAP]								Winpakket
	Wvp1	Wvp1a	Wvp1b	Wvp1c	Wvp2	Wvp2a	Wvp2b	Wvp3	
Archemerberg	-40				-130				Wvp1
Ceintuurbaan		-10	-35		-200				Wvp2
Diepenveen		-10	-40		-200				Wvp2
Engelse Werk	-95				-270				Wvp1/Wvp2
Espelo	-12				-22			-130	Wvp2/Wvp3
Goor	-25								Wvp1
Hasselo									?
Herikerberg	-35								Wvp1
Hoge Hexel		5	-30	-85					Wvp1b/Wvp1c
Holten	5				-12			-75	Wvp2/Wvp3
Lemselo		-10	-45						Wvp1a/Wvp1b/Wvp1c
Nijverdal	-30				-125				Wvp1/Wvp2
St. Jans klooster	5				-115			-280	Wvp2
Wierden		0	-43	-70					Wvp1b
Witharen		-10	-50			-90	-170		Wvp1b/Wvp2a
Zutphenseweg		-10	-35		-210				Wvp2

3.3 Oordeel over haalbaarheid verlagingsbeeld per winning

Voor elk van de 16 drinkwaterwinningen hebben wij beoordeeld wat de haalbaarheid is van het met tijdreeksanalyse afleiden van een stationair verlagingsbeeld van de grondwaterstand. Daarbij is de empirische aanpak gevolgd, zoals beschreven in § 3.1.2. Onderstaande tabel 3.2 vermeldt per winning voor welke combinaties van perioden de grondwaterstanden zijn vergeleken. Voor de winning Ceintuurbaan zijn geen perioden vergeleken, aangezien in de periode waarover onttrekkingsgegevens beschikbaar zijn geen relevante variatie is opgetreden.

Tabel 3.2: Per beschouwde drinkwaterwinning de combinaties van perioden waarvan de grondwaterstanden zijn vergeleken. Tevens is het verschil in de gemiddelde onttrekkingen (Q) van de twee perioden vermeld, alsmede het verschil in het gemiddeld potentieel neerslagoverschot (PNO).

Winning	Periode 1	Periode 2	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1 [mm/d]
Archemerberg	1935 t/m 1959	1968 t/m 1971	2,33	-0,03
	1935 t/m 1959	2007 t/m 2013	3,01	0,10
	1968 t/m 1971	2007 t/m 2013	0,68	0,13
Diepenveen	1960 t/m 1969	1989 t/m 1995	3,06	-0,37
	1960 t/m 1969	2005 t/m 2013	1,68	-0,26
	1989 t/m 1995	2005 t/m 2013	-1,38	0,11
Engelse werk	1960 t/m 1963	1971 t/m 1975	2,54	-0,43
	1960 t/m 1963	2003 t/m 2013	7,57	-0,23
	1971 t/m 1975	2003 t/m 2013	5,03	0,20
Espelo	1952 t/m 1972	1981 t/m 1988	1,81	-0,09
	1981 t/m 1988	1992 t/m 2013	2,50	0,06
	1952 t/m 1972	1992 t/m 2013	4,30	-0,03
Goor	1975 t/m 1984	2002 t/m 2008	0,54	0,08
Hasselo	1989 t/m 1989	1990 t/m 1991	0,43	0,18
Herikerberg	1971 t/m 1971	1974 t/m 1980	-1,93	0,60
	1971 t/m 1971	1997 t/m 2000	-2,98	1,11
	1974 t/m 1980	1997 t/m 2000	-1,06	0,50
Hoge Hexel	1969 t/m 1973	2006 t/m 2013	0,84	0,23
Holten	1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	1,12	-0,26
Lemselo	1935 t/m 1966	2002 t/m 2013	0,97	-0,29
Nijverdal	1960 t/m 1965	1981 t/m 1983	2,56	-0,29
	1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	4,13	-0,26
	1981 t/m 1983	2008 t/m 2013	1,57	0,03
St. Jans klooster	1970 t/m 1974	1991 t/m 1994	1,80	0,24
Wierden	1981 t/m 1985	1996 t/m 2003	-2,14	0,16
Witharen	1996 t/m 2004	2007 t/m 2013	2,52	-0,08
Zutphenseweg	1989 t/m 1995	2007 t/m 2013	-0,72	0,13

Voor elk van deze 15 drinkwaterwinningen is de empirische aanpak uitgewerkt in bijlage 1. De resultaten van het statistisch toetsen op een onderscheidbare verlagings-/verhogingskegel zijn voor elke winning vermeld in tabel 3.3, per combinatie van perioden.

Tabel 3.3: Per drinkwaterwinning zijn de resultaten vermeld van het vergelijken van de grondwaterstanden van twee perioden met duidelijk verschillende winningshoeveelheden. Voor elk watervoerend pakket is de geschatte helling vermeld van het regressiemodel (zie § 3.1.2, punt 6). Als de geschatte helling statistisch significant is, is deze blauw gekleurd. Er is dan sprake van een duidelijke verlaagings-/ verhogingskegel. Ook vermeld is het verschil in de gemiddelde onttrekkingen (Q) van de twee perioden, alsmede het verschil in het gemiddeld potentieel neerslagoverschot (PNO).

Winning	Vergelijking	Periode 1	Periode 2	WVP	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
Archemerberg	1	1935 t/m 1959	1968 t/m 1971			2,33	-0,03
	2	1935 t/m 1959	2007 t/m 2013			3,01	0,10
	3	1968 t/m 1971	2007 t/m 2013	Wvp1	0,342	0,68	0,13
	3			Wvp2		0,68	0,13
Diepenveen	1	1960 t/m 1969	1989 t/m 1995	Wvp1a		3,06	-0,37
	1			Wvp1b		3,06	-0,37
	1			Wvp2		3,06	-0,37
	2	1960 t/m 1969	2005 t/m 2013	Wvp1a		1,68	-0,26
	2			Wvp1b		1,68	-0,26
	2			Wvp2		1,68	-0,26
	3	1989 t/m 1995	2005 t/m 2013	Wvp1a	0,022	-1,38	0,11
	3			Wvp1b	-1,252	-1,38	0,11
	3			Wvp2	-0,668	-1,38	0,11
Engelse werk	1	1960 t/m 1963	1971 t/m 1975	Wvp1	0,390	2,54	-0,43
	2	1960 t/m 1963	2003 t/m 2013	Wvp1	0,835	7,57	-0,23
	3	1971 t/m 1975	2003 t/m 2013	Wvp1	0,205	5,03	0,20
Espelo	1	1952 t/m 1972	1981 t/m 1988	Wvp1	0,297	1,81	-0,09
	2	1981 t/m 1988	1992 t/m 2013	Wvp1	-0,034	2,50	0,06
	2			Wvp2	-0,217	2,50	0,06
	2			Wvp3	0,081	2,50	0,06
	3	1952 t/m 1972	1992 t/m 2013	Wvp1	0,368	4,30	-0,03
Goor	1	1975 t/m 1984	2002 t/m 2008	Wvp1	0,252	0,54	0,08
Hasselo	1	1989 t/m 1989	1990 t/m 1991	filter 1	0,139	0,43	0,18
	1			filter 2	0,226	0,43	0,18
	1			filter 3+	0,373	0,43	0,18
Herikerberg	1	1971 t/m 1971	1974 t/m 1980	Wvp1	0,016	-1,93	0,60
	2	1971 t/m 1971	1997 t/m 2000	Wvp1	-1,084	-2,98	1,11
	3	1974 t/m 1980	1997 t/m 2000	Wvp1	-0,984	-1,06	0,50
Hoge Hexel	1	1969 t/m 1973	2006 t/m 2013	Wvp1a	0,393	0,84	0,23
	1			Wvp1b	-1,552	0,84	0,23
	1			Wvp1c	-0,240	0,84	0,23
Holten	1	1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	Wvp1		1,12	-0,26
	1			Wvp3		1,12	-0,26
Lemselo	1	1935 t/m 1966	2002 t/m 2013			0,97	-0,29
Nijverdal	1	1960 t/m 1965	1981 t/m 1983	Wvp1	-0,310	2,56	-0,29
	2	1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	Wvp1	0,786	4,13	-0,26
	3	1981 t/m 1983	2008 t/m 2013	Wvp1	0,701	1,57	0,03
	3			Wvp2	1,158	1,57	0,03
St. Jansklooster	1	1970 t/m 1974	1991 t/m 1994	Wvp2	-0,010	1,80	0,24
Wierden	1	1981 t/m 1985	1996 t/m 2003	Wvp1a	-0,575	-2,14	0,16
	1			Wvp1b	-0,834	-2,14	0,16
	1			Wvp1c	2,818	-2,14	0,16
Witharen	1	1996 t/m 2004	2007 t/m 2013	Wvp1a	0,216	2,52	-0,08
	1			Wvp1b	0,393	2,52	-0,08
	1			Wvp2a	0,658	2,52	-0,08
	1			Wvp2b	0,680	2,52	-0,08
Zutphenseweg	1	1989 t/m 1995	2007 t/m 2013	Wvp1a	-0,430	-0,72	0,13
	1			Wvp1b	0,045	-0,72	0,13
	1			Wvp2	-1,000	-0,72	0,13

Uit deze tabel blijkt dat er behalve voor de reeds eerder afgevalen winning Ceintuurbaan (onvoldoende winningsvariatie) ook voor de winningen Holten, Lemselo en St. Jansklooster (elk met onvoldoende / onvoldoende onderscheidende informatie over grondwaterstanden / stijghoogten) weinig kans is op het met tijdreeksanalyse afleiden van een stationair verlagingsbeeld.

Van de overige twaalf winningen is er voor minstens één combinatie van perioden voor één of meer van de watervoerende pakketten sprake van een statistisch significante helling. Conform stap 7 van de empirische aanpak (beschreven in § 3.1.2) is voor elk van deze winningen nagegaan of er minstens vijf meetreeksen beschikbaar zijn die: i) de betreffende perioden omvatten, ii) doorgaans minstens halfmaandelijks zijn bemeten, iii) geen hiaat van meer dan een jaar vertonen, iv) afkomstig zijn van peilfilters binnen een straal van 3 km van de winning. Als dit het geval bleek, is geconcludeerd dat het voor de betreffende winning haalbaar is een verlagingsbeeld te reconstrueren middels tijdreeksanalyse van grondwaterstandreeksen.

Aanvullend is aan de hand van het aantal beschikbare meetreeksen en de ruimtelijke spreiding van de betreffende peilfilters beoordeeld wat de potentie van het af te leiden beeld is als validatie- of ijkset.

En tenslotte is beoordeeld wat de potentie is om met dat beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden. Daarbij is afgegaan op het aantal beschikbare meetreeksen, hun ruimtelijke spreiding en de mate van complexiteit van de opbouw van de ondergrond.

Alle oordelen zijn samengevat in tabel 3.4. Deze tabel bevat ook de in § 2.1 beargumenteerde oordelen over de potenties van de zes reeds afgeleide stationaire verlagingsbeelden.

Tabel 3.4: De oordelen voor elk van de 22 beschouwde drinkwaterwinningen, over: i) de haalbaarheid van het afleiden van een stationair verlagingsbeeld, ii) de potentie van dat beeld als validatie- of ijkset en iii) de potentie om met dat beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden

Winning	Haalbaarheid afleiden stationair verlagingsbeeld	Potentie als validatie- of ijkset	Potentie afleiden betrouwbare bodemparameters
Archemerberg	Hoog	Midden	Laag
Boerhaar	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Brucht	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Ceintuurbaan	Laag	Laag	Laag
Diepenveen	Midden	Midden	Midden
Engelse werk	Laag	Laag	Laag
Espelo	Laag	Laag	Laag
Goor	Hoog	Hoog	Hoog
Hammerfliet	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
Hasselo	Hoog	Hoog	Hoog
Herikerberg	Hoog	Hoog	Midden
Hoge Hexel	Laag	Laag	Laag
Holtten	Laag	Laag	Laag
Lemselo	Laag	Laag	Laag
Lossen	Beeld beschikbaar	Midden	Laag
Manderveen	Beeld beschikbaar	Laag	Laag
Nijverdal	Hoog	Hoog	Midden
Rodenmors	Beeld beschikbaar	Hoog	Hoog
St. Jansklooster	Laag	Laag	Laag
Wierden	Hoog	Hoog	Hoog
Witharen	Hoog	Hoog	Hoog
Zutphenseweg	Midden	Midden	Midden

Klasse	Aantal	Aantal	Aantal
Laag	7	8	10
Midden	2	4	4
Hoog	7	10	8
Beeld beschikbaar	6		

Van de 16 drinkwaterwinningen waar geen stationair verlagingsbeeld van beschikbaar is, zijn er zeven waar de haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld hoog is en twee waar die matig is ('midden'). Voor zeven winningen is de haalbaarheid laag.

Er zijn tien winningen waar het verlagingsbeeld hoge potenties heeft als validatie- of ijkset en vier waar die potentie matig is. Voor acht winningen zijn er slechts lage potenties op dat vlak.

Tenslotte zijn er acht winningen waar er hoge potenties zijn om met het verlagingsbeeld betrouwbare bodemparameters af te leiden en vier waar deze potenties matig zijn. Voor de overige tien winningen zijn er slechts lage potenties om met het verlagingsbeeld betrouwbare bodemparameters af te leiden.

Aangehaalde literatuur

Baggelaar, P.K. (2002a): *Statistische analyse van de invloed van de winning Losser op de grondwaterstand en de stijghoogte*. Icastat, januari 2002, 24 blz. en bijlagen.

Baggelaar, P.K. (2002b): *Analyse grondwaterstanden en stijghoogten ter evaluatie grondwateronttrekking en wateraanvoerplan Boerhaar*. Icastat, oktober 2002, 64 blz.

Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2004): *Invloed stopzetten deelwinningen Losser op grondwaterstanden*. Icastat en AMO, september 2004, 64 blz.

Baggelaar, P.K. (2005): *Statistische evaluatie invloed grondwaterwinning Rodenmors en wateraanvoer op grondwaterstanden*. Icastat, mei 2005, 60 blz.

Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2007): *Reconstructie effect stopzetten grondwaterwinning Brucht op grondwaterstanden*. Icastat en AMO, oktober 2007, 86 blz.

Baggelaar, P.K. en Van der Meulen, E.C.J. (2008a): *Statistische reconstructie invloed grondwaterwinning Hammerflier en waterbeheersplan op grondwaterstanden*. Icastat en AMO, juni 2008, 80 blz.

Baggelaar, P.K., Van der Hoek, W.F. en Van der Meulen, E.C.J. (2008b): *Reconstructie invloed grondwaterwinning Losser op grondwaterstanden*. Icastat, EcoQuest en AMO, december 2008, 152 blz.

Boukes, H. (2007): *Het uitwerken van een pompproef die nooit is uitgevoerd*. Stromingen, jaargang 13, nummer 3.

Boukes, H. (2013): *Nooit meer putverstoppingsmetingen*. Vakblad H2O, gepubliceerd via de website, 2013.

Hodges, J.L. (Jr.) and Lehmann, E.L. (1963): *Estimates of location based on rank tests*. Annals Mathematical Statistics 34, blz. 598-611.

Kiwa (2004): *Tijdreeksanalyse Mander - Een onderzoek naar de hydrologische wisselwerking tussen de stuwwal van Ootmarsum en de Slenk van Reutum*. Kiwa-rapport, C. Maas en J.R. von Asmuth, 29 april 2004, 14 blz. en bijlagen.

Olsthoorn, T.N. en Boukes, H. (1982): *Grondwaterwinning Boerhaar – Verlagingspatroon*. Kiwa-rapport SWO-417, Rijswijk, augustus 1982.

Waterschap Salland (1994): *Integraal Watervoorzieningsplan Midden-West*. Sector Ontwikkeling en Projecten, oktober 1994.

Witteveen+Bos (2013): *Evaluatie reallocatie grondwaterwinning Mander 2012*. Witteveen+Bos, Vitens, KWR, Icastat, Nico Jaarsma, 27 juni 2013, rapport ZL490-16, 132 blz. en bijlagen.

WMO (1980): *Grondwaterwinning Boerhaar – De invloed op de omgeving*. Waterleiding Maatschappij Overijssel NV, afdeling Onderzoek, Zwolle, oktober 1980.

Bijlage 1: Resultaten empirische aanpak per drinkwaterwinning

Voor elk van de 16 drinkwaterwinningen waarvoor nog geen stationair verlagingsbeeld is afgeleid, is een empirische aanpak gevolgd om te kunnen beoordelen in hoeverre de historische gegevens over de winning en de grondwaterstand in de omgeving geschikt zijn om een dergelijk beeld af te leiden. De gevolgde aanpak is beschreven in § 3.1. Deze bijlage vermeldt voor elk van de 16 drinkwaterwinningen afzonderlijk (alfabetisch gerangschikt) de resultaten van deze empirische aanpak.

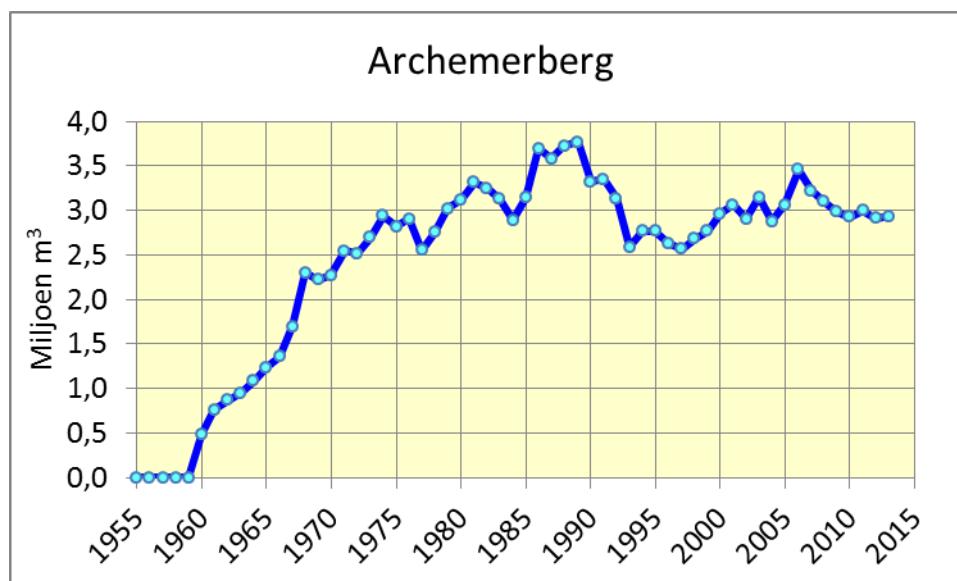
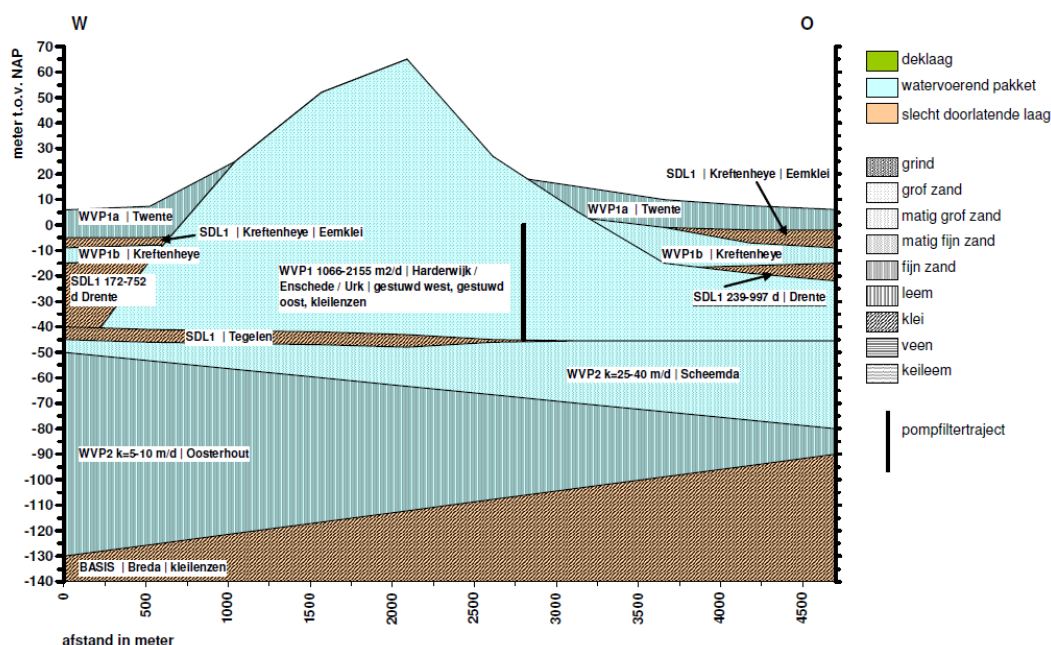
Voor elke winning worden maximaal de volgende grafieken / tabellen getoond.

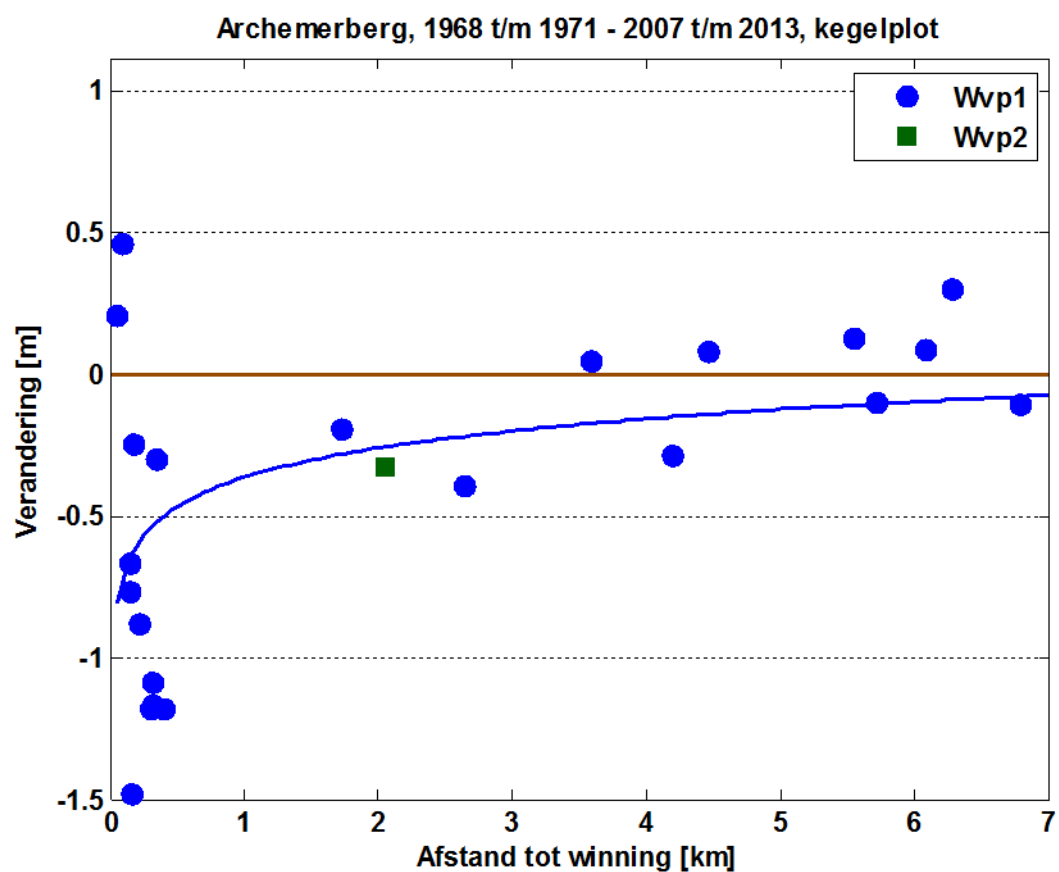
- Geohydrologische factsheet, zoals Vitens die hanteert.
- Historisch verloop van de jaarlijkse onttrekking, afgeleid zoals beschreven in § 3.2.
- Kegelplot van elk paar perioden waarvoor voldoende grondwaterstandgegevens beschikbaar zijn (zie § 3.1.2 voor de daarbij gehanteerde criteria).
- Tabel met de resultaten van het vergelijken van de grondwaterstanden van twee perioden met duidelijk verschillende winningshoeveelheden. Voor elk watervoerend pakket is de helling vermeld van het regressiemodel (zie § 3.1.2, punt 6). Als de helling statistisch significant is (met 95% betrouwbaarheid) is deze blauw gekleurd. Er is dan een duidelijke verlagings-/verhogingskegel. Ook vermeld is het verschil in de gemiddelde onttrekkingen (Q) van de twee perioden, alsmede het verschil in het gemiddeld potentieel neerslagoverschot (PNO);
- Kaart met de ligging van de peilfilters die voldoende zijn bemeten over de periode waarin de winning duidelijk is veranderd, zodat er een grote kans is om de invloed van die verandering met tijdreeksanalyse te kunnen vaststellen.

Archemerberg

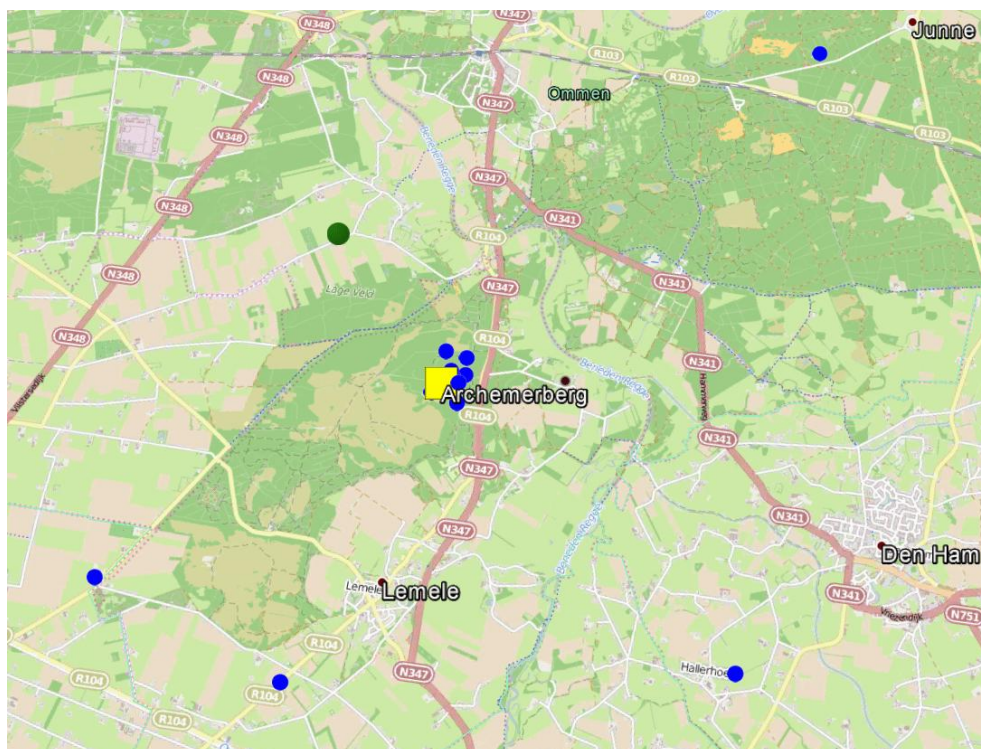
Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Archemerberg
Winveld: Archemerberg





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1935 t/m 1959	1968 t/m 1971			2,33	-0,03
1935 t/m 1959	2007 t/m 2013			3,01	0,10
1968 t/m 1971	2007 t/m 2013	Wvp1	0,342	0,68	0,13
		Wvp2		0,68	0,13



Conclusie

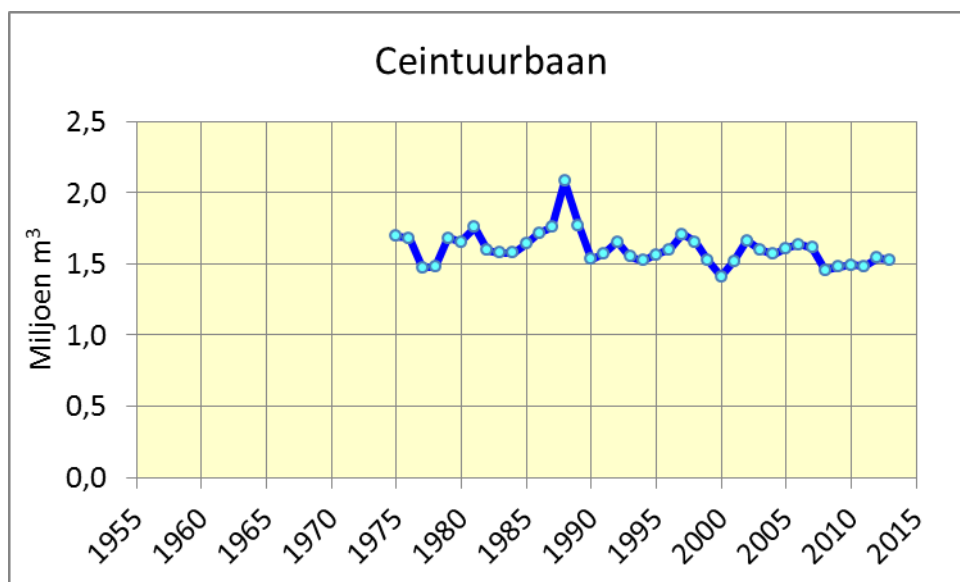
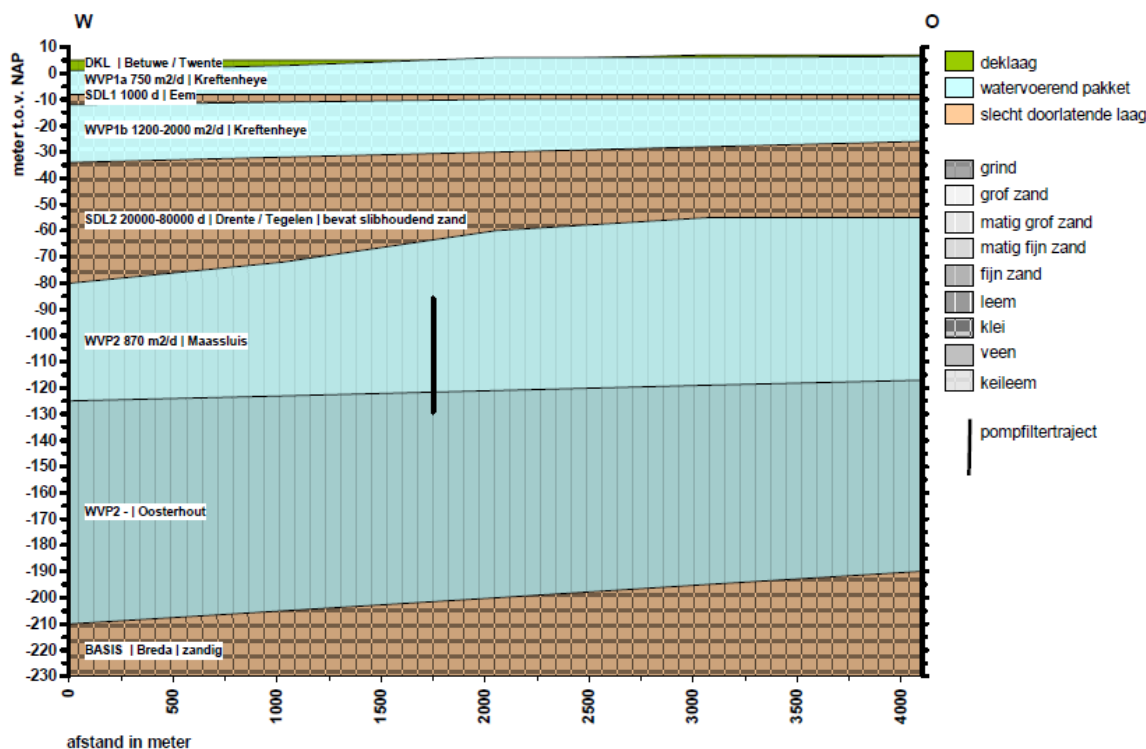
De haalbaarheid van het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse vanaf 1968 is hoog. De potentie van het beeld als validatie- of ijkset is echter matig ('midden'), doordat er geen goede ruimtelijke spreiding is van de betreffende peilfilters. De meeste bevinden zich namelijk vlak bij de winning. De potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden is laag te achten, aangezien er sprake is van gestuwde lagen.

Ceintuurbaan

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Deventer

Winveld: Deventer (Ceintuurbaan)



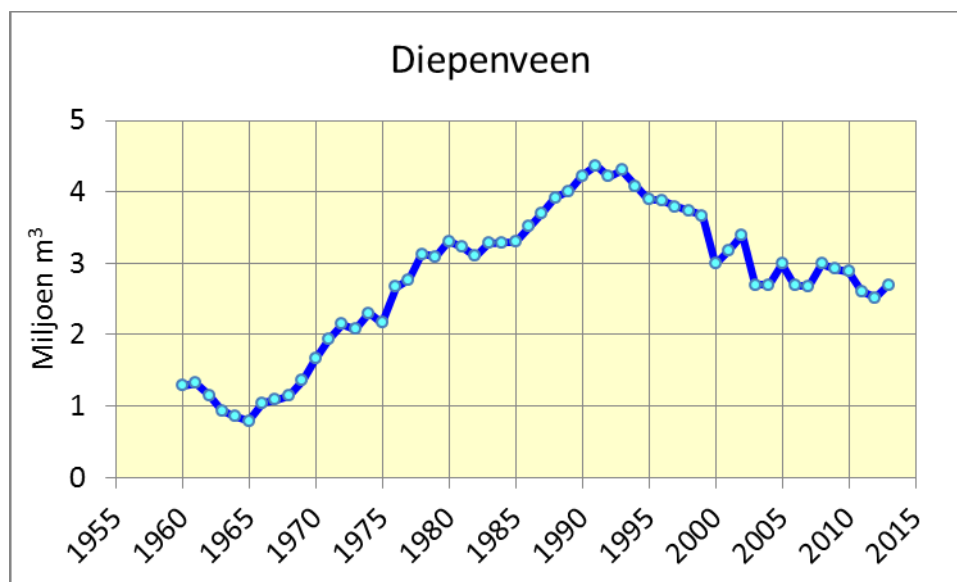
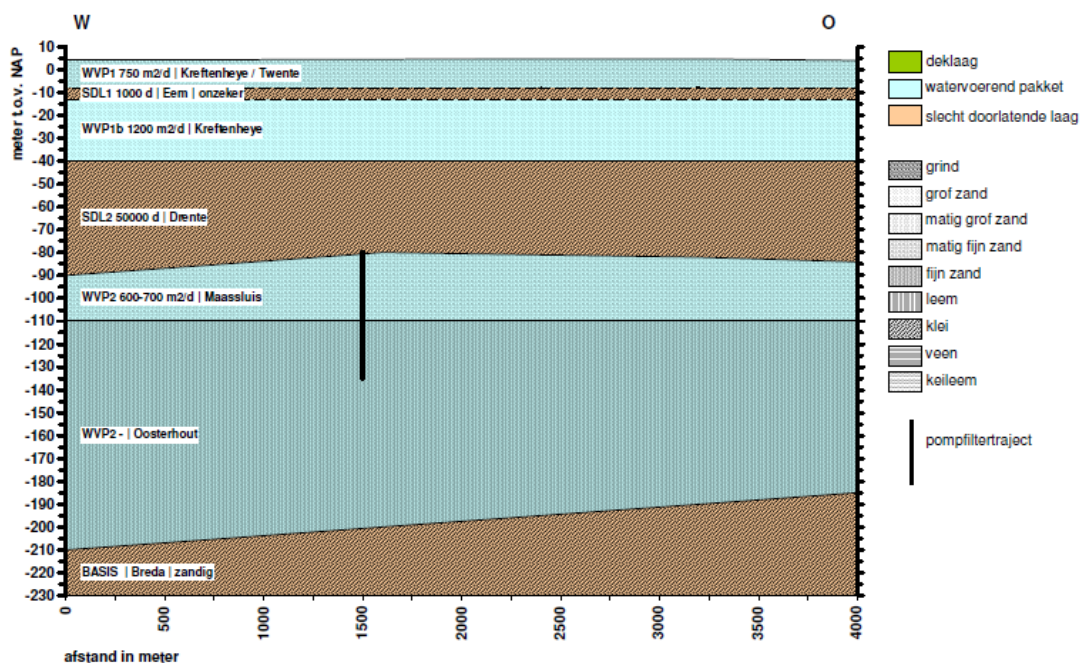
Conclusie

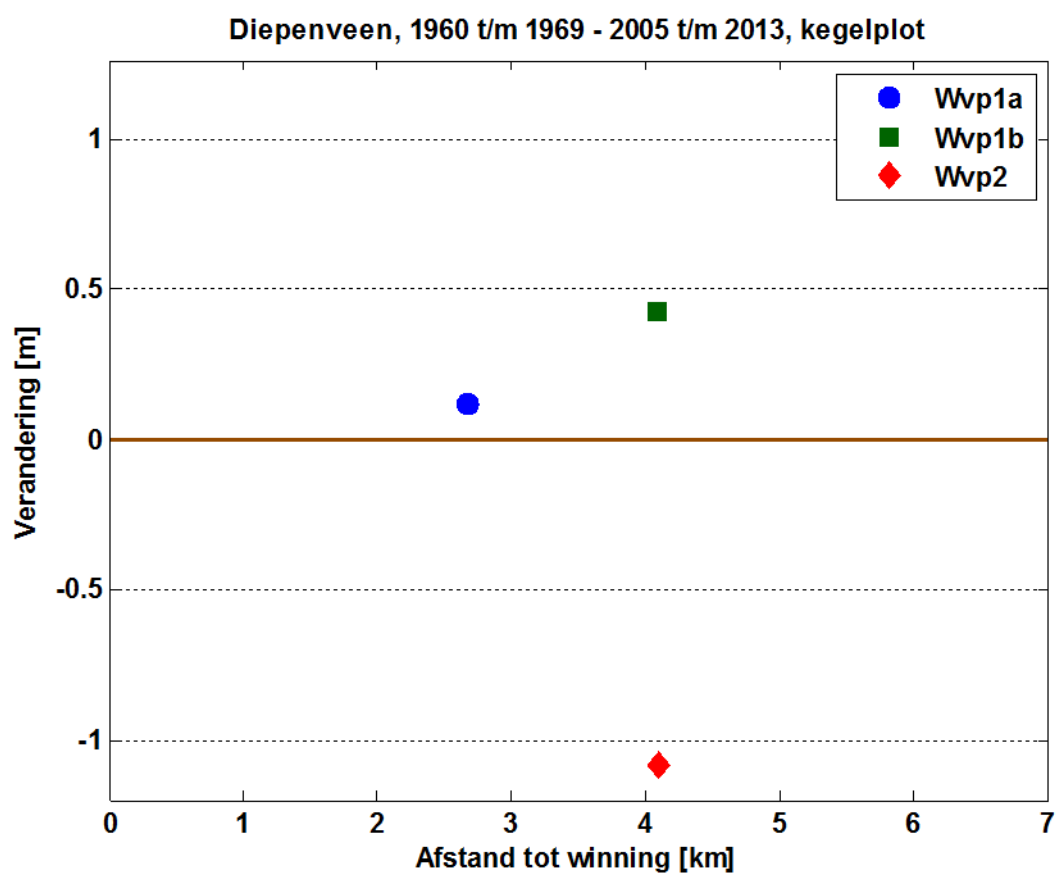
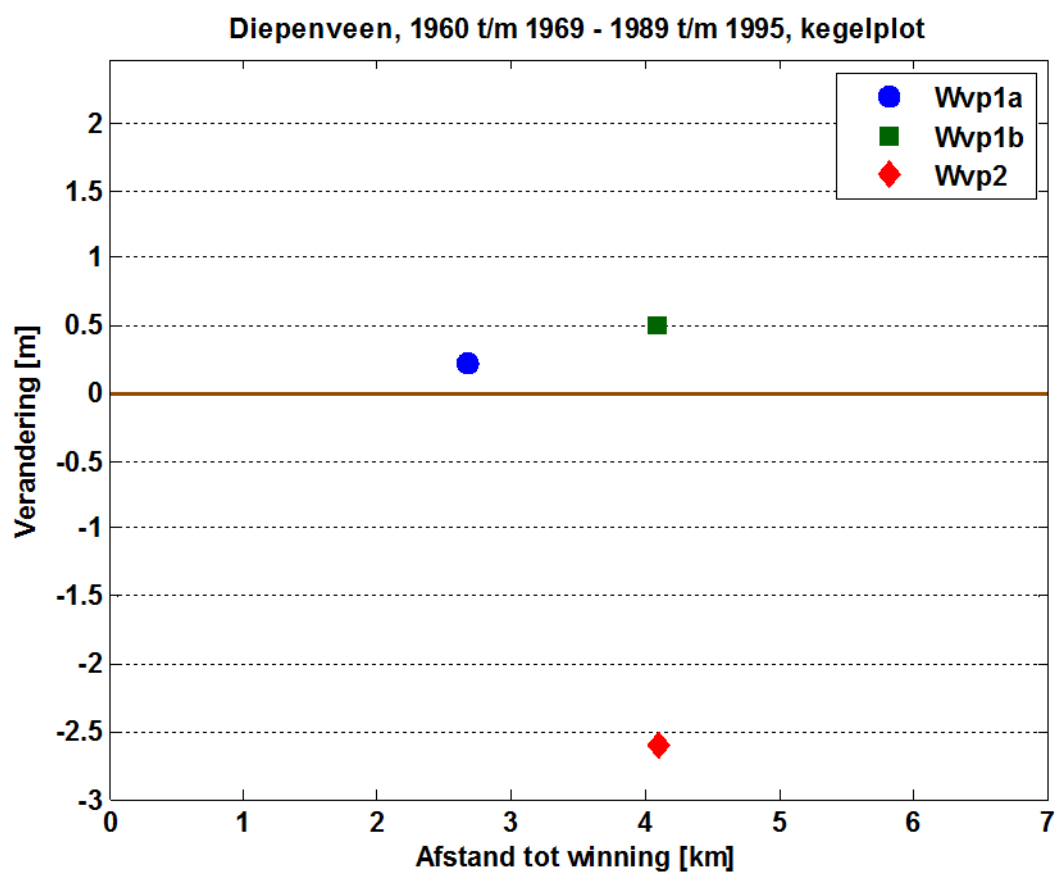
De winning is niet relevant gewijzigd over de periode waarover gegevens beschikbaar zijn. De haalbaarheid van het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse is daardoor laag, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset.

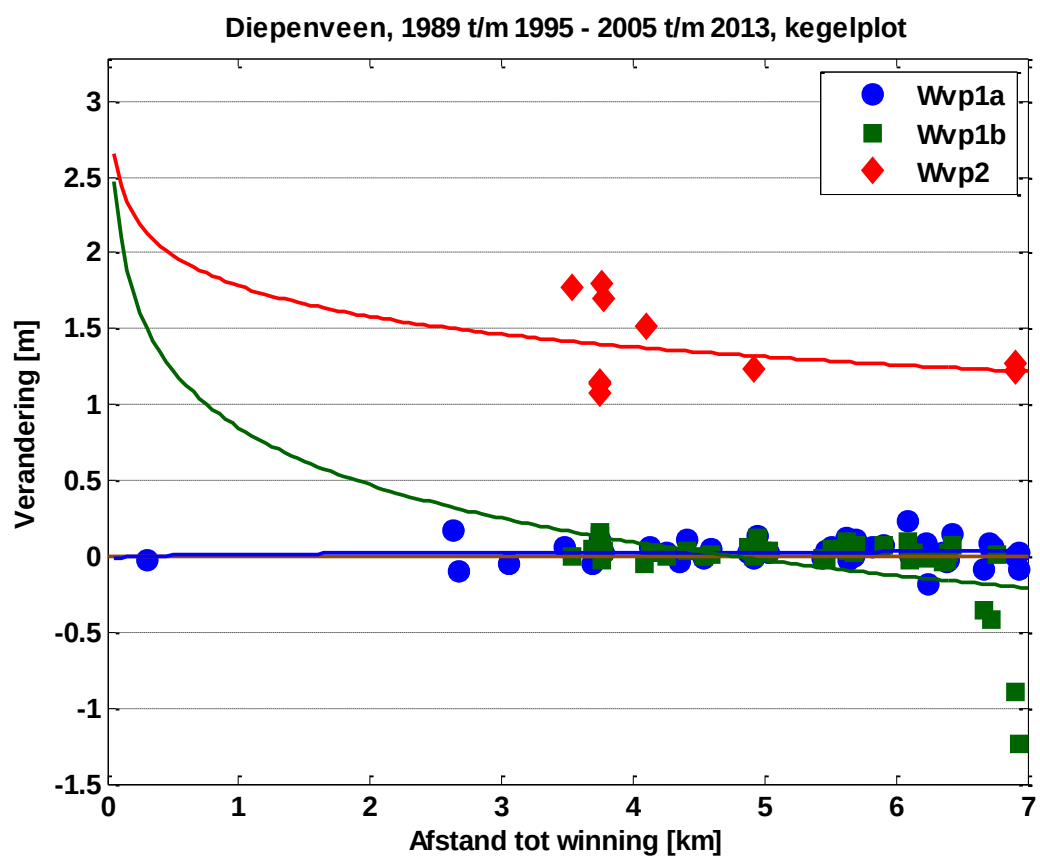
Diepenveen

Geohydrologische factsheet, profiel

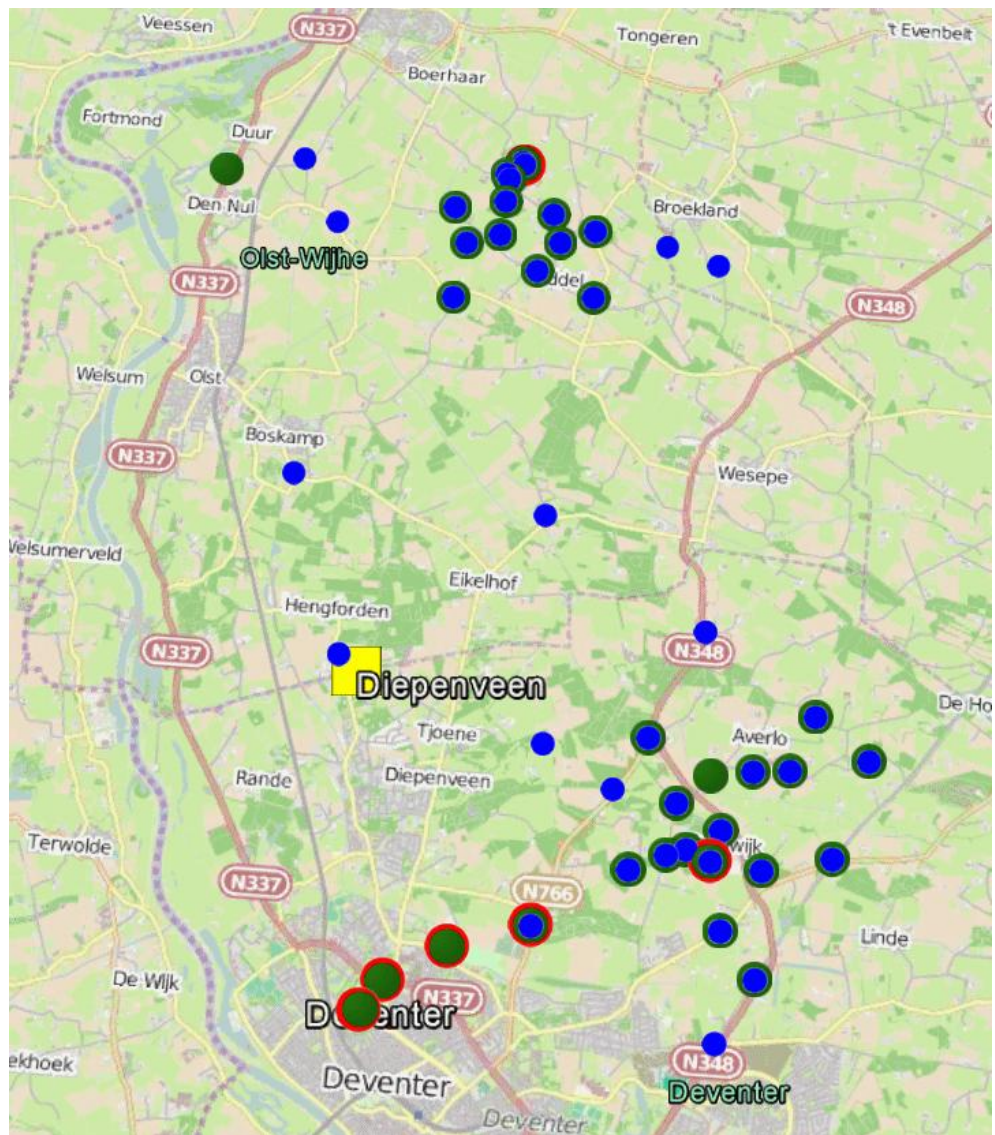
Productielokatie: Diepenveen
Winveld: Diepenveen







Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1960 t/m 1969	1989 t/m 1995	Wvp1a		3,06	-0,37
		Wvp1b		3,06	-0,37
		Wvp2		3,06	-0,37
1960 t/m 1969	2005 t/m 2013	Wvp1a		1,68	-0,26
		Wvp1b		1,68	-0,26
		Wvp2		1,68	-0,26
1989 t/m 1995	2005 t/m 2013	Wvp1a	0,022	-1,38	0,11
		Wvp1b	-1,252	-1,38	0,11
		Wvp2	-0,668	-1,38	0,11



Conclusie

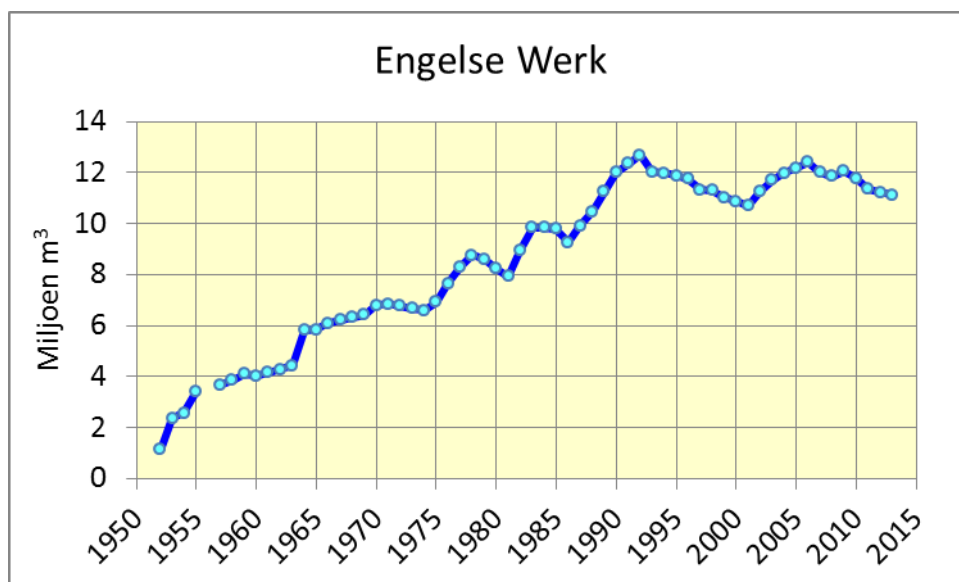
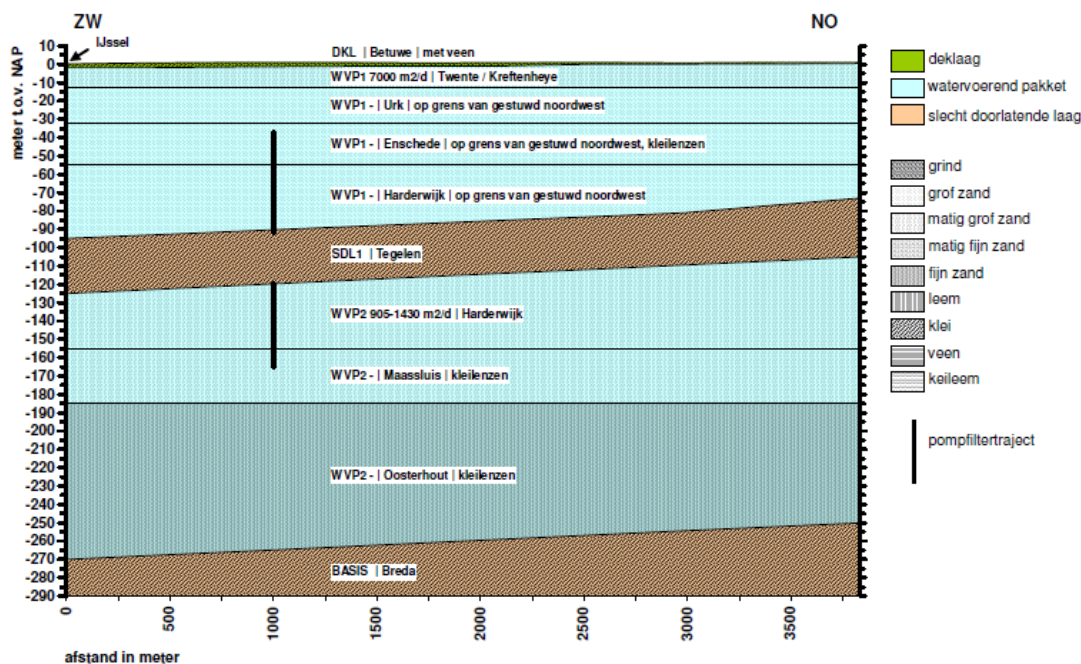
Over de periode vanaf 1989, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verla-
gingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er wel meerdere grondwaterstandreeksen beschikbaar, maar
slechts drie op minder dan 3 km afstand. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld
achten wij daarom matig ('midden'). Hetzelfde oordeel geldt voor de potentie van het beeld als
validatie- of ijkset en voor de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te
leiden.

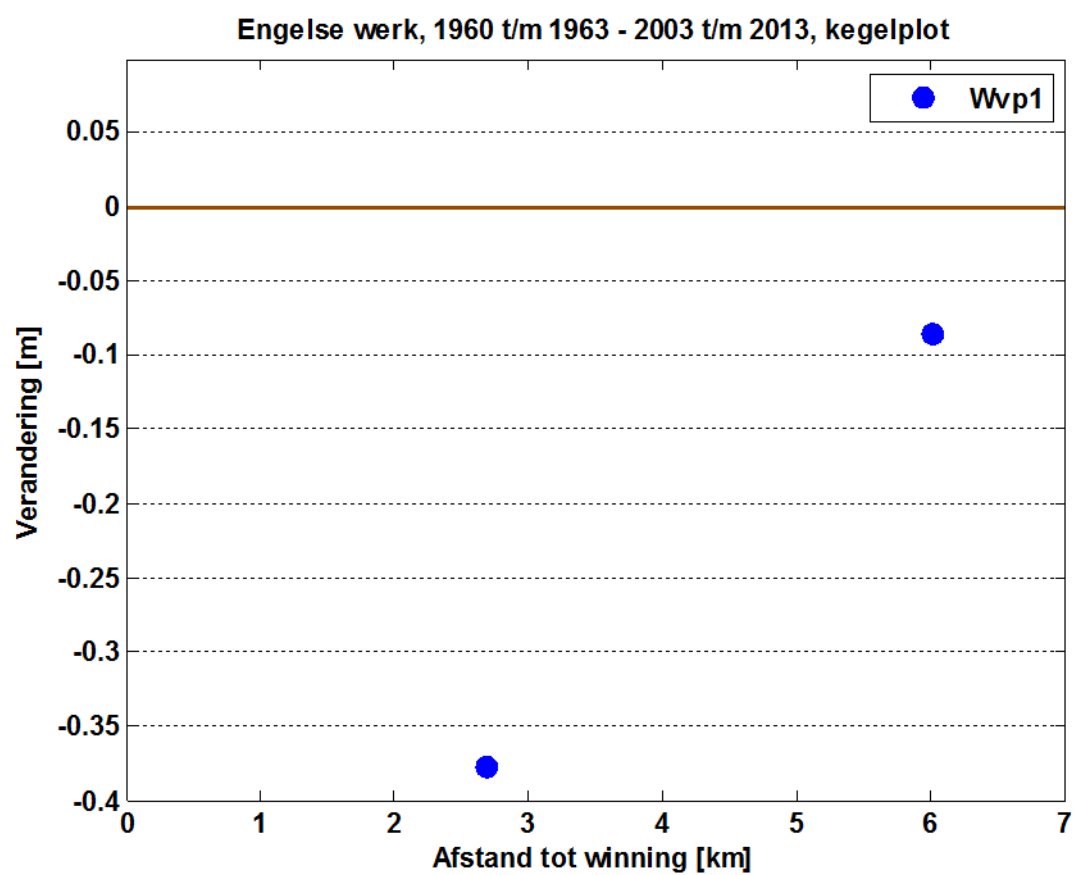
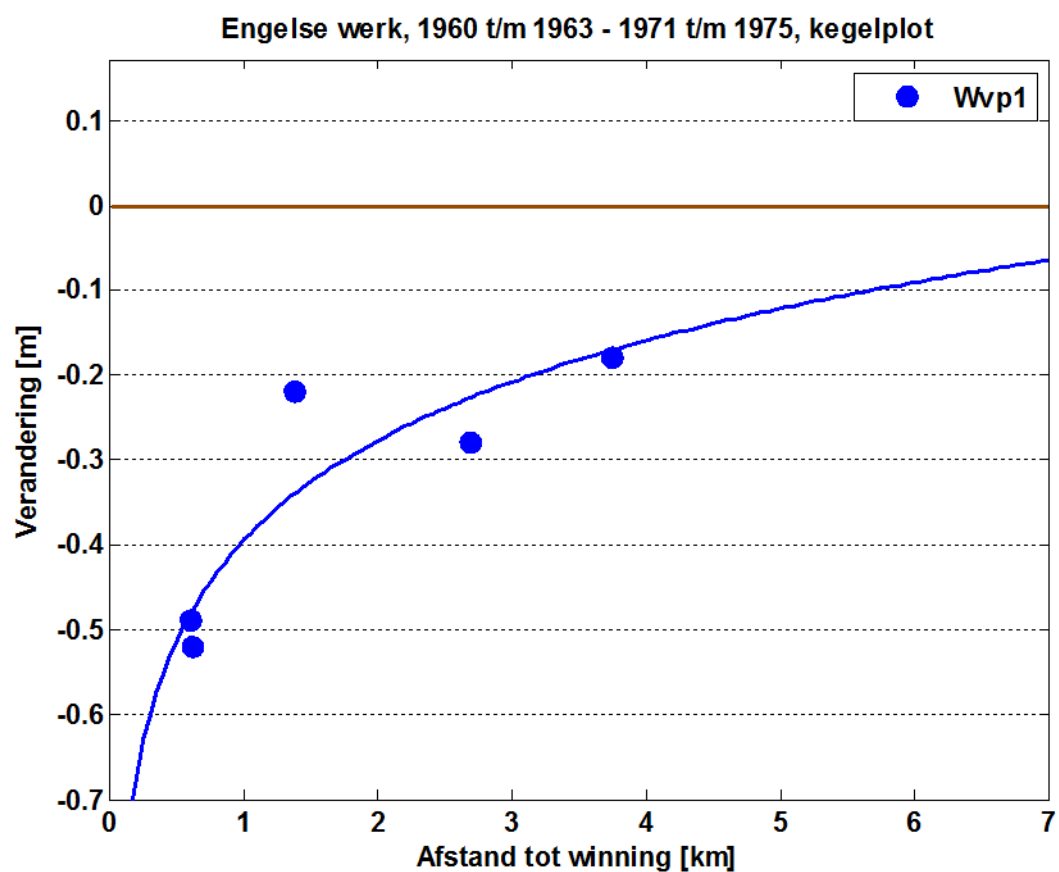
Engelse Werk

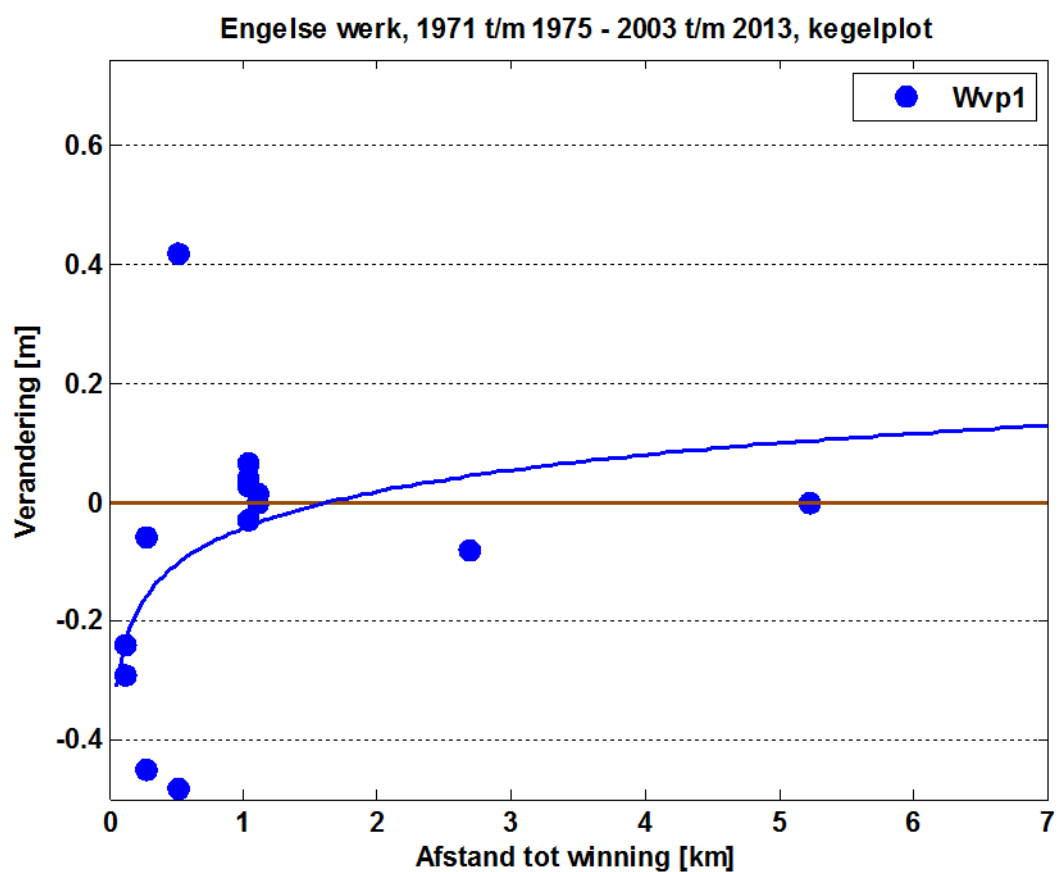
Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Engelse Werk

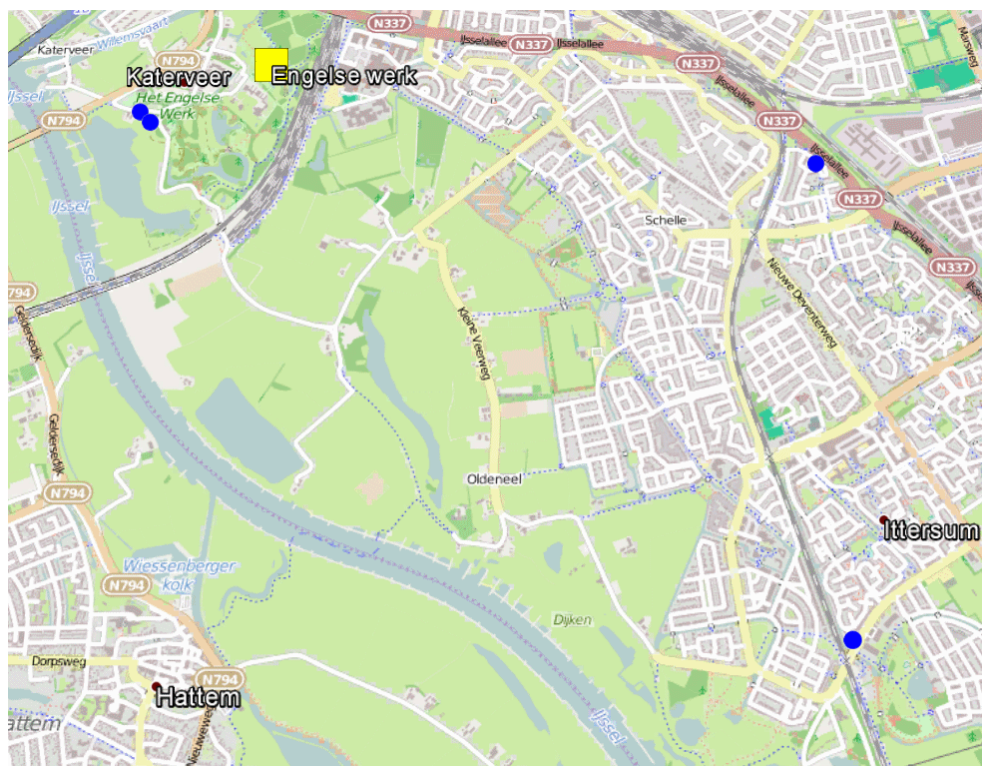
Winveld: Engelse Werk







Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1960 t/m 1963	1971 t/m 1975	Wvp1	0,390	2,54	-0,43
1960 t/m 1963	2003 t/m 2013	Wvp1	0,835	7,57	-0,23
1971 t/m 1975	2003 t/m 2013	Wvp1	0,205	5,03	0,20



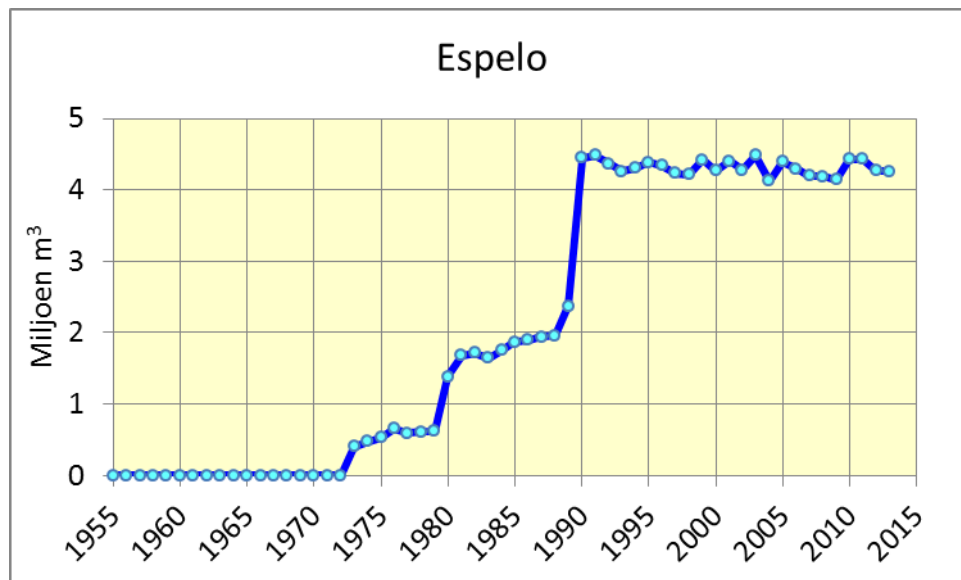
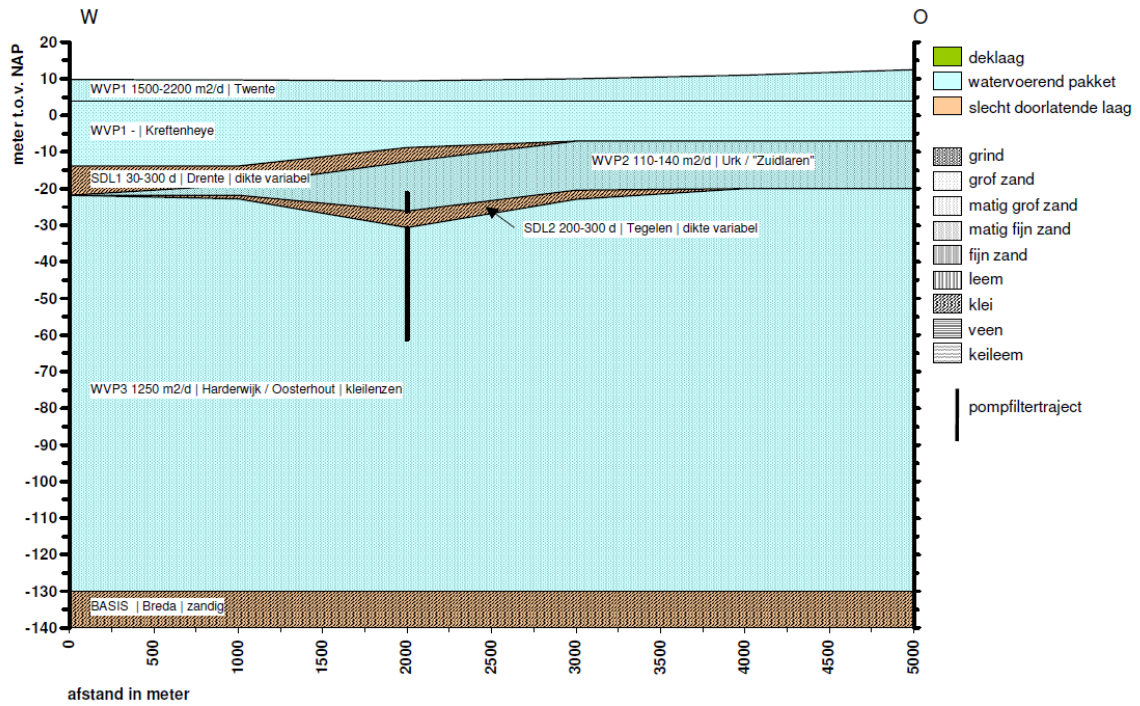
Conclusie

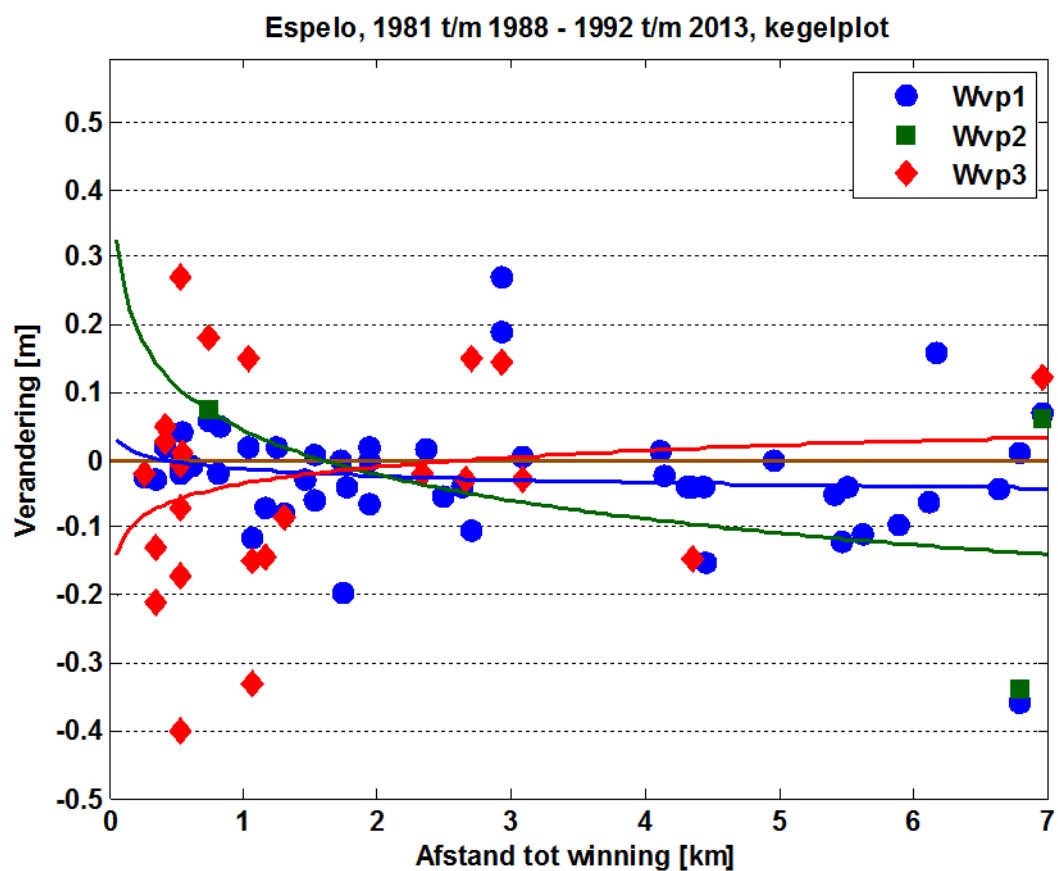
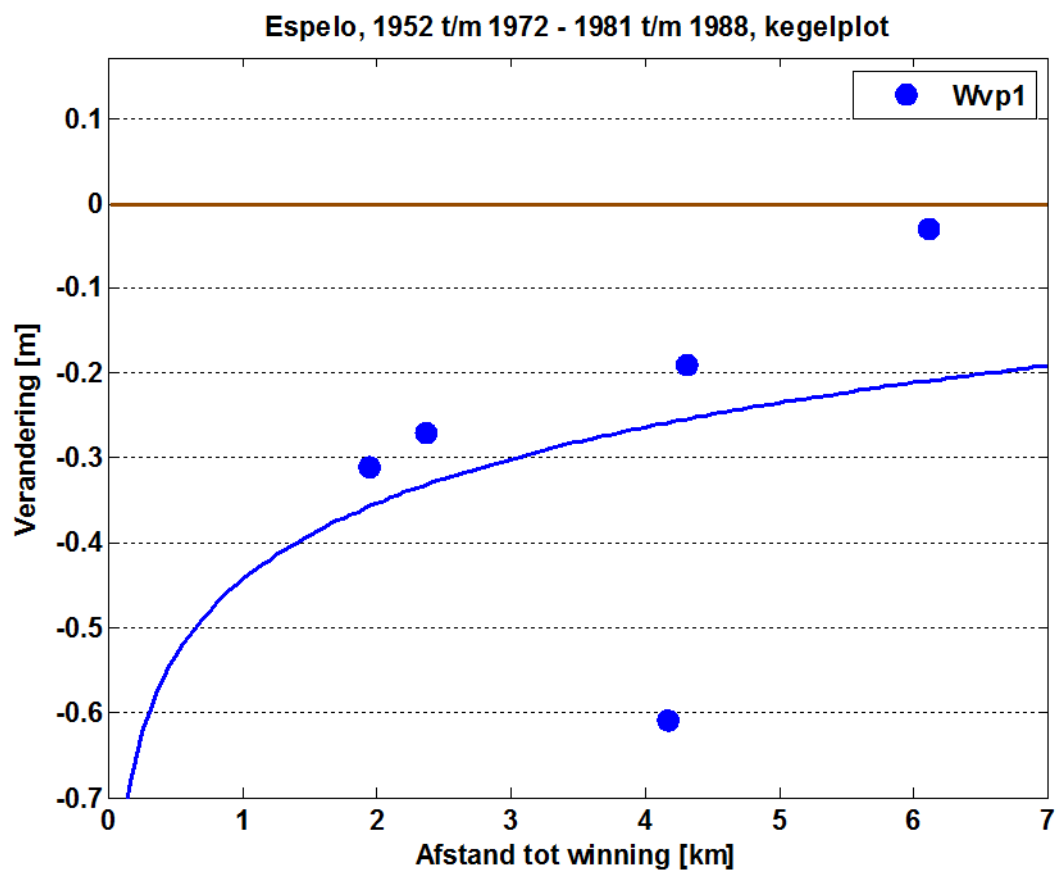
De haalbaarheid van het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse vanaf 1960 is laag, aangezien daar slechts vier grondwaterstandreeksen voor beschikbaar zijn, waarvan twee afkomstig van vlak naast elkaar gelegen peilbuizen. Door de slechte ruimtelijke spreiding is ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset laag.

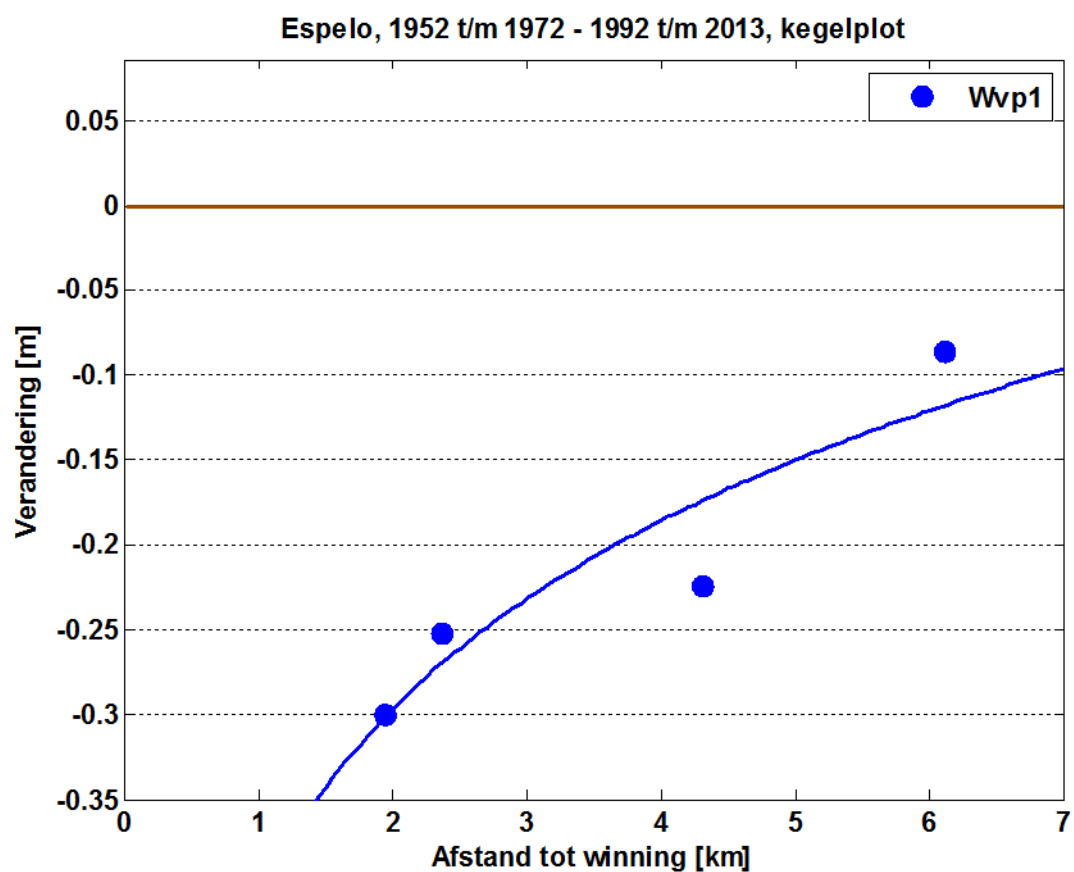
Espelo

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Espelose Broek
Winveld: Espelose Broek







Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1952 t/m 1972	1981 t/m 1988	Wvp1	0,297	1,81	-0,09
1981 t/m 1988	1992 t/m 2013	Wvp1	-0,034	2,50	0,06
		Wvp2	-0,217	2,50	0,06
		Wvp3	0,081	2,50	0,06
1952 t/m 1972	1992 t/m 2013	Wvp1	0,368	4,30	-0,03



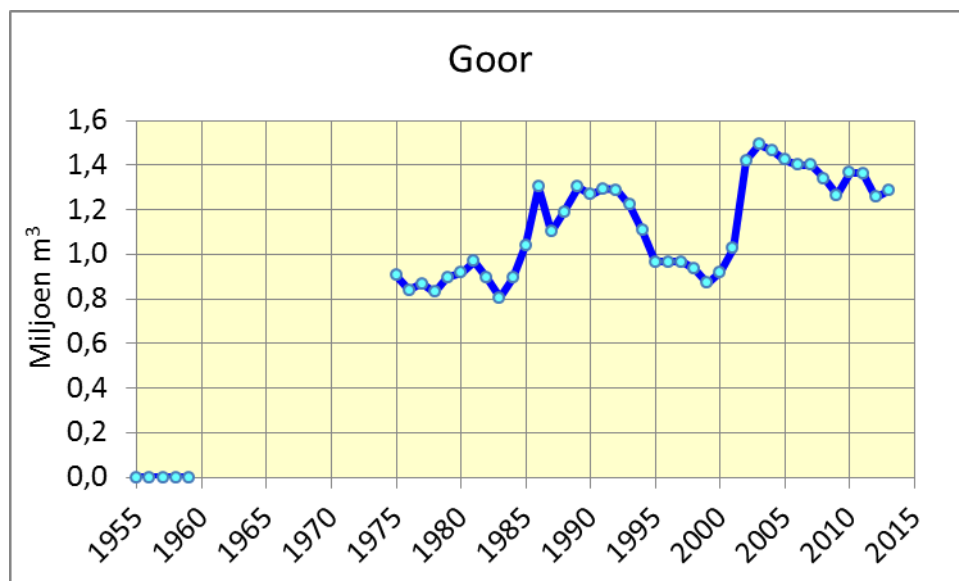
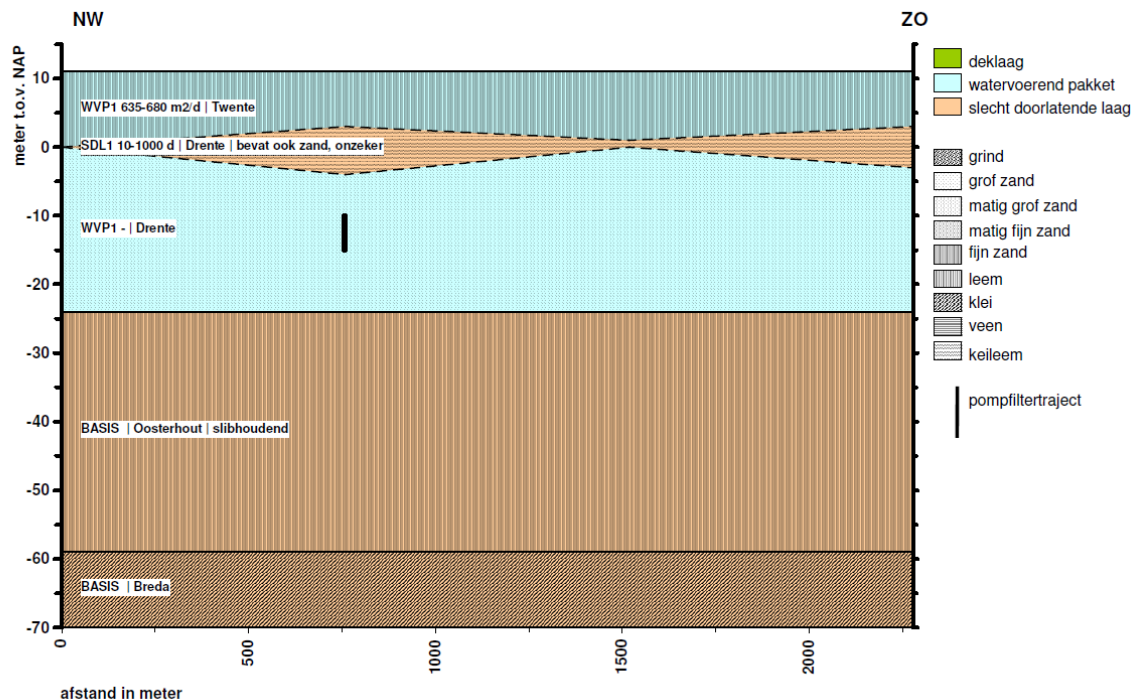
Conclusie

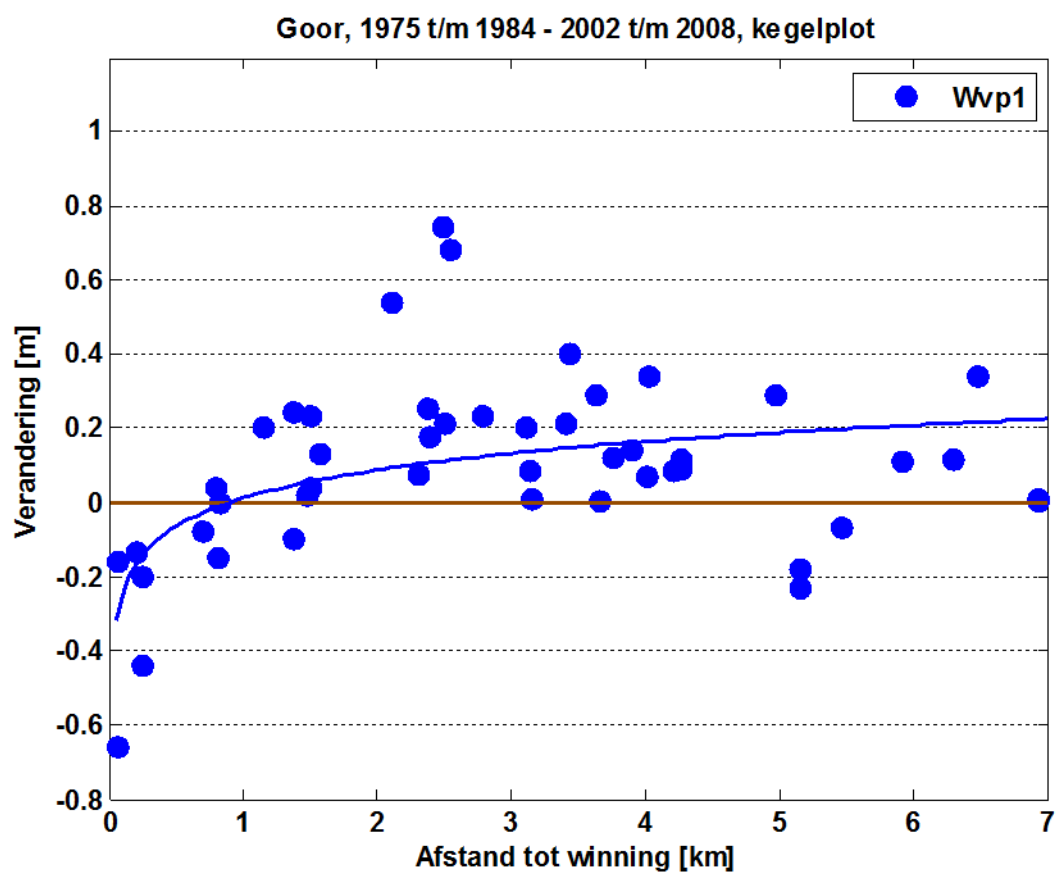
Er zijn te weinig grondwaterstandreeksen over de periode vanaf 1952, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld is daardoor laag. Door het geringe aantal reeksen is ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset laag.

Goor

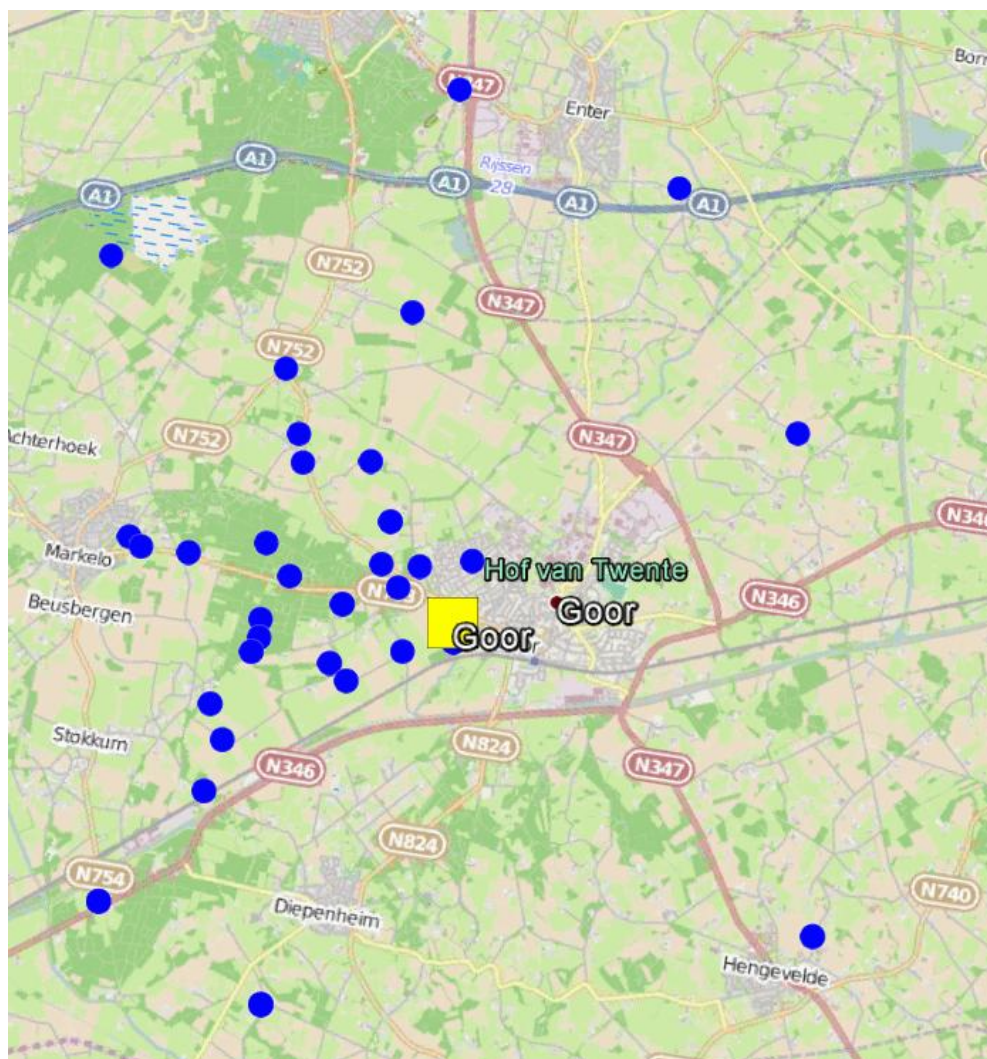
Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Goor
Winveld: Goor





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1975 t/m 1984	2002 t/m 2008	Wvp1	0,252	0,54	0,08



Conclusie

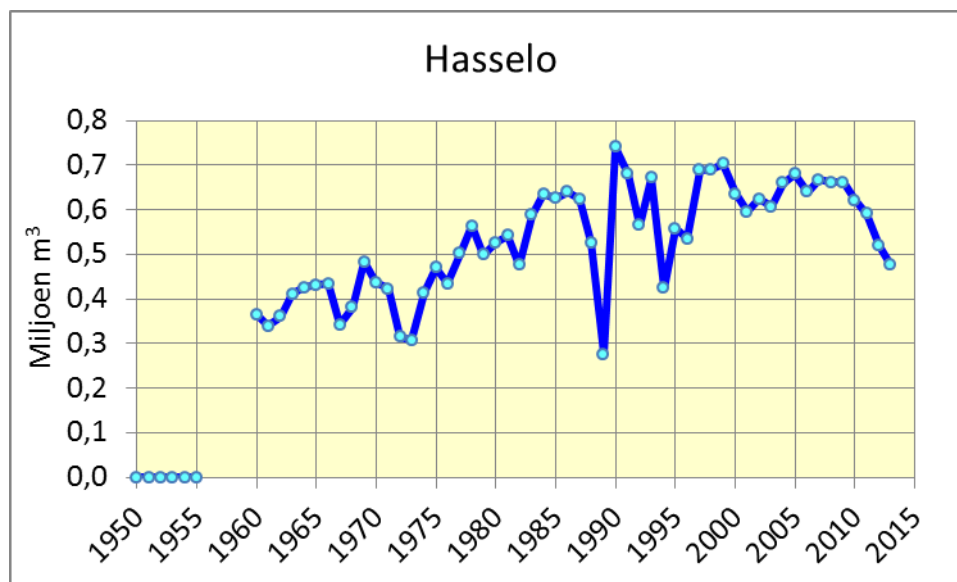
Over de periode vanaf 1975, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er voldoende grondwaterstandreeksen beschikbaar. De meeste daarvan zijn afkomstig van peilfilters aan de westkant van Goor. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten wij hoog. Door het grote aantal reeksen is ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset hoog. Gezien de relatief eenvoudige bodemopbouw achten wij tenslotte ook de potentie van het afleiden van betrouwbare bodemparameters met dit beeld hoog.

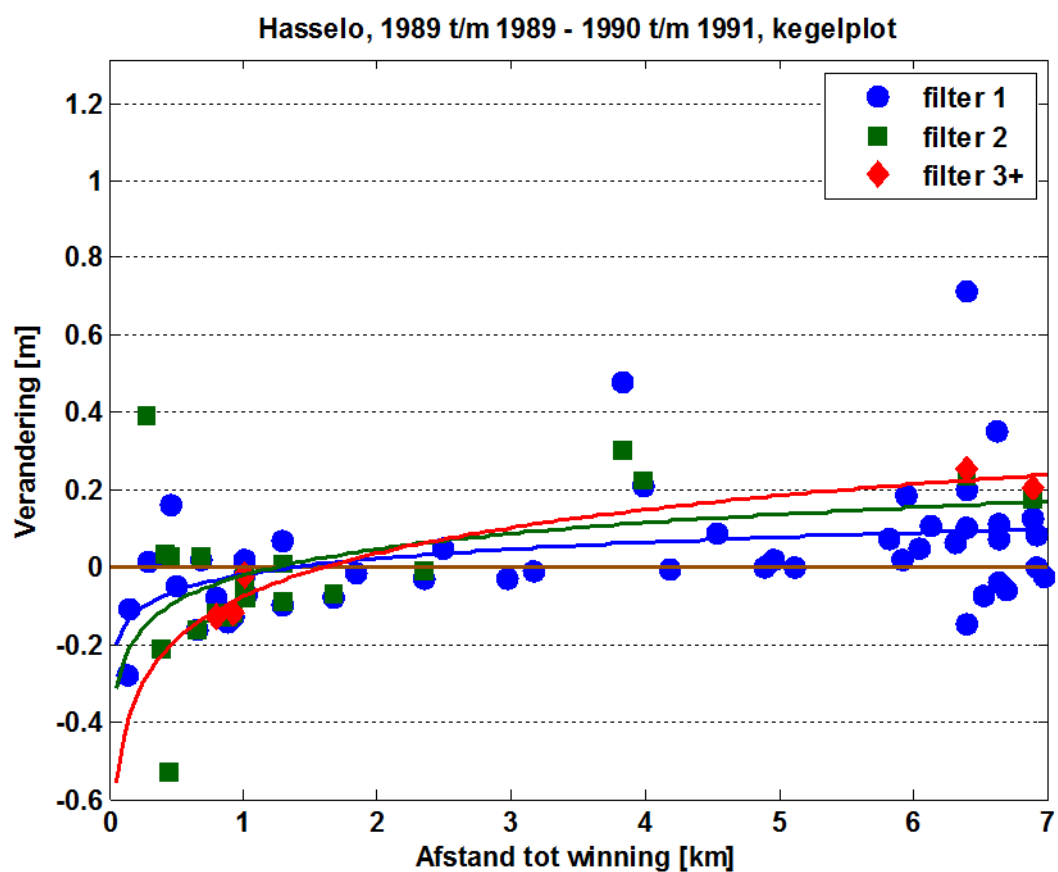
Hasselo

Geen geohydrologisch profiel beschikbaar.

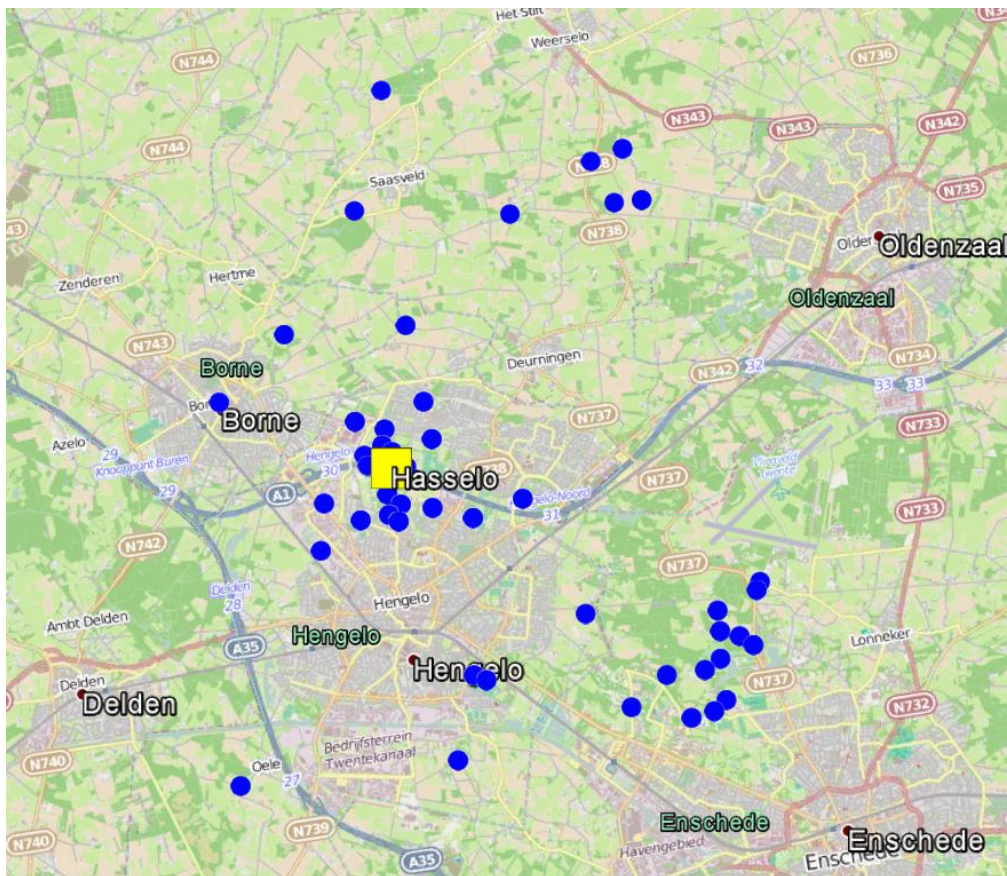
Onderstaande beschrijving is overgenomen uit: *Gebiedsdossiers drinkwaterwinningen Overijssel - Deel 2: Hasselo* (Provincie Overijssel Eenheid Water en Bodem, december 2010, 26 blz.).

De winning Hasselo ligt aan de noordkant van Hengelo en wordt ingeklemd door stedelijk gebied met in het noordoosten de wijk Hasselo, in het noordwesten Borne en in het zuiden Hengelo. Het is een semi-spanningswater-winning, wat betekent dat het gewonnen water afkomstig is uit een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket. De winning van het grondwater is gestart in 1934. De onttrekking vindt plaats op twee verschillende dieptes. De bovenste onttrekking vindt plaats op een diepte van circa 19 tot 24 meter beneden maaiveld (m-mv) en de onderste op circa 36 tot 41 m-mv. Het vergunningsdebiet is 0,69 miljoen m³/jaar. De werkelijk onttrokken hoeveelheden varieerden in de periode 2005-2009 tussen 0,64 en 0,68 miljoen m³/jaar.





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1989 t/m 1989	1990 t/m 1991	filter 1	0,139	0,43	0,18
		filter 2	0,226	0,43	0,18
		filter 3+	0,373	0,43	0,18



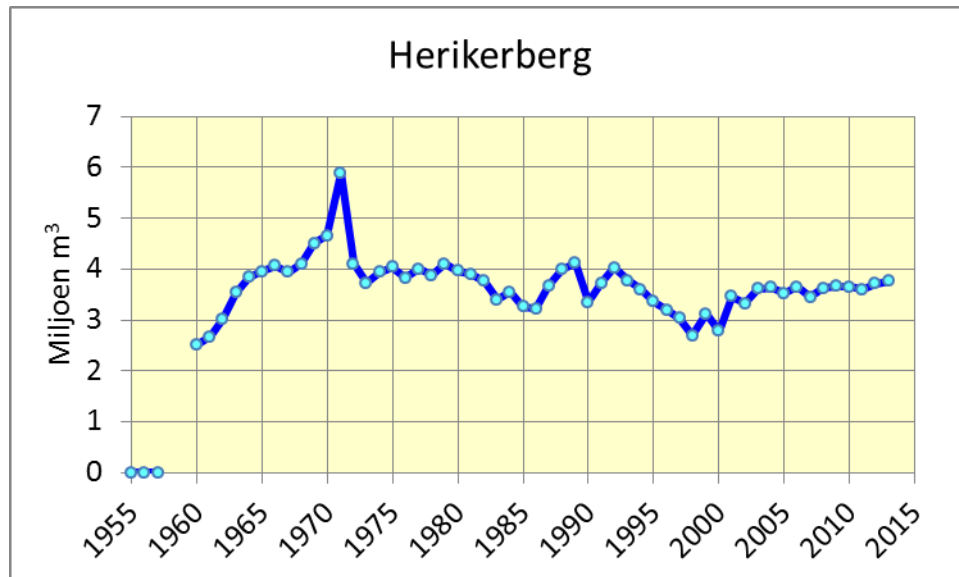
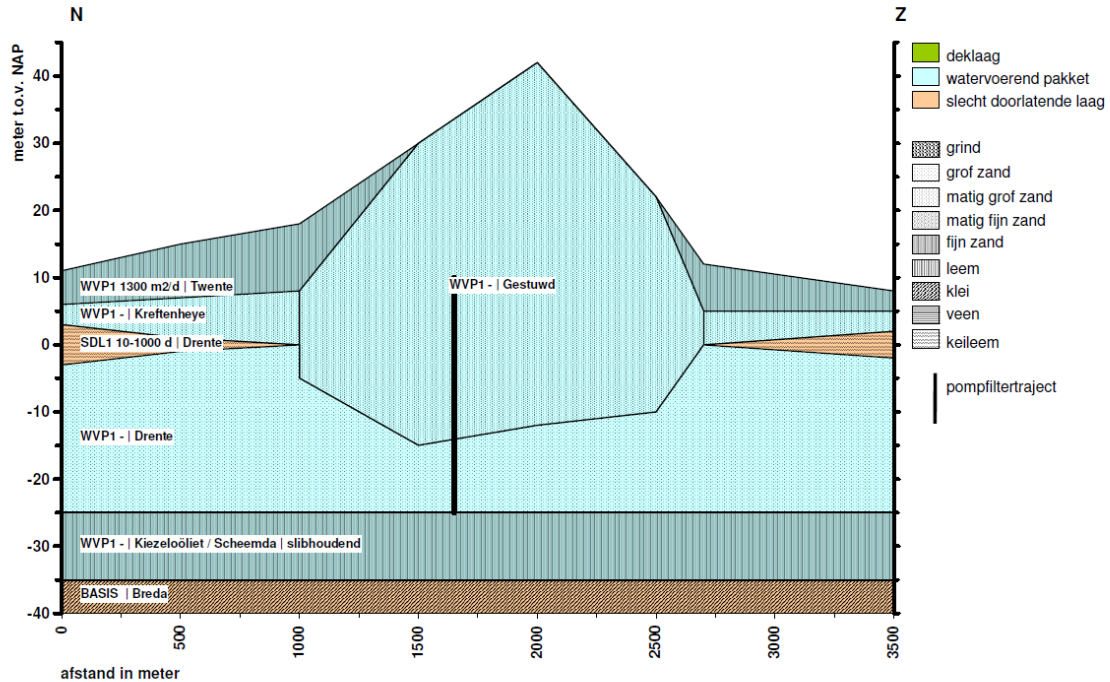
Conclusie

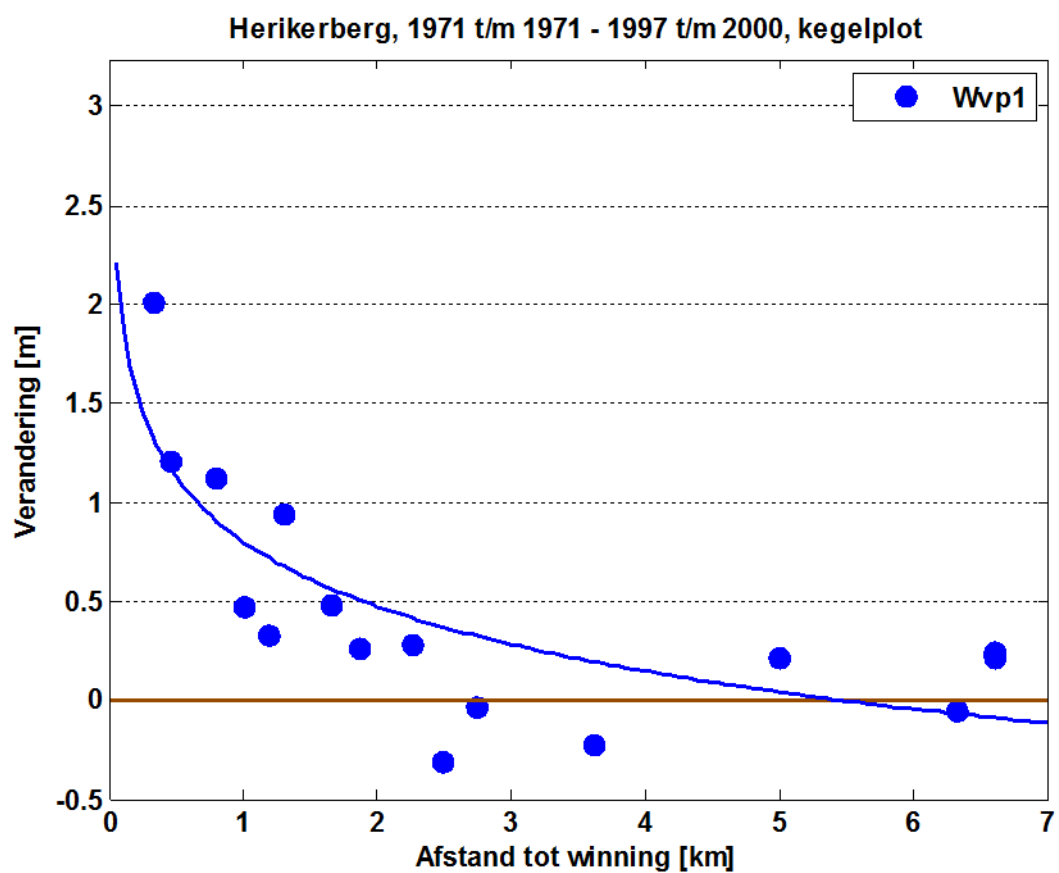
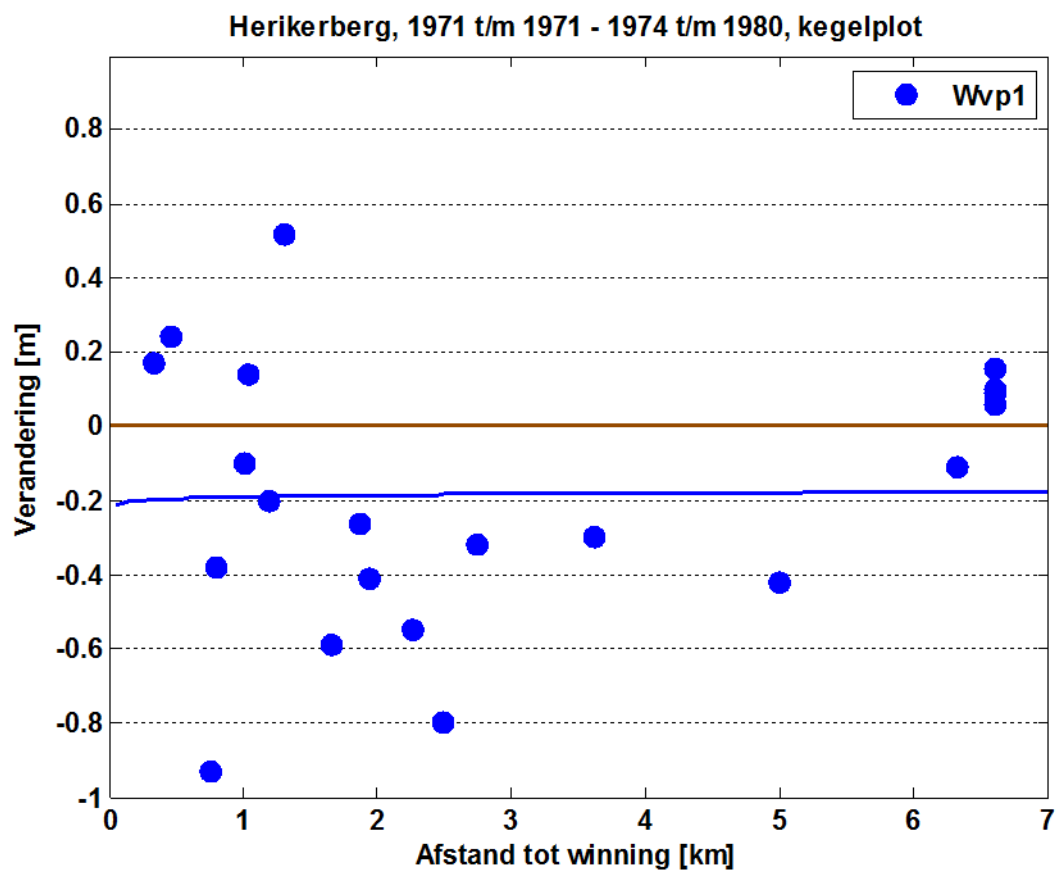
Over de periode vanaf 1989, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlaging beeld met tijdreeksanalyse zijn er voldoende grondwaterstandreeksen beschikbaar, met een goede ruimtelijke spreiding. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld is hoog, evenals de potentie van dat beeld als validatie- of ijkset. Gezien de relatief eenvoudige bodemopbouw achten wij tenslotte ook de potentie van het afleiden van betrouwbare bodemparameters met dit beeld hoog.

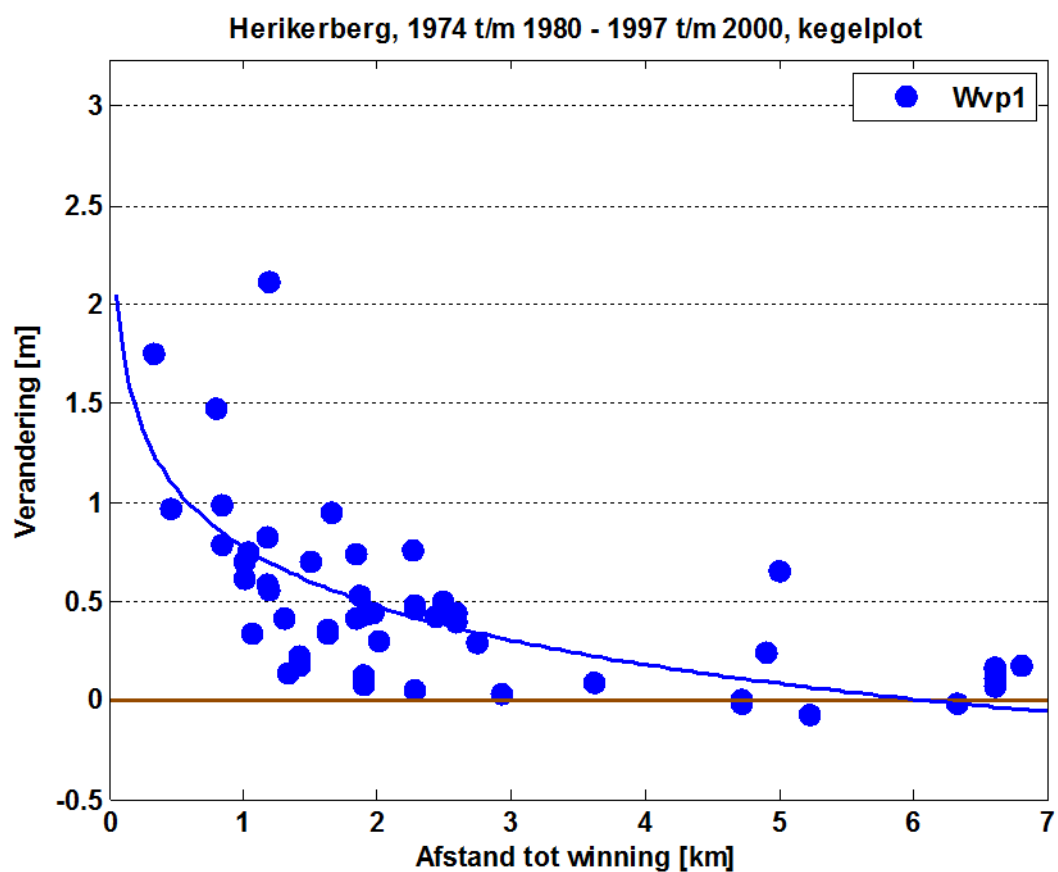
Herikerberg

Geohydrologische factsheet, profiel

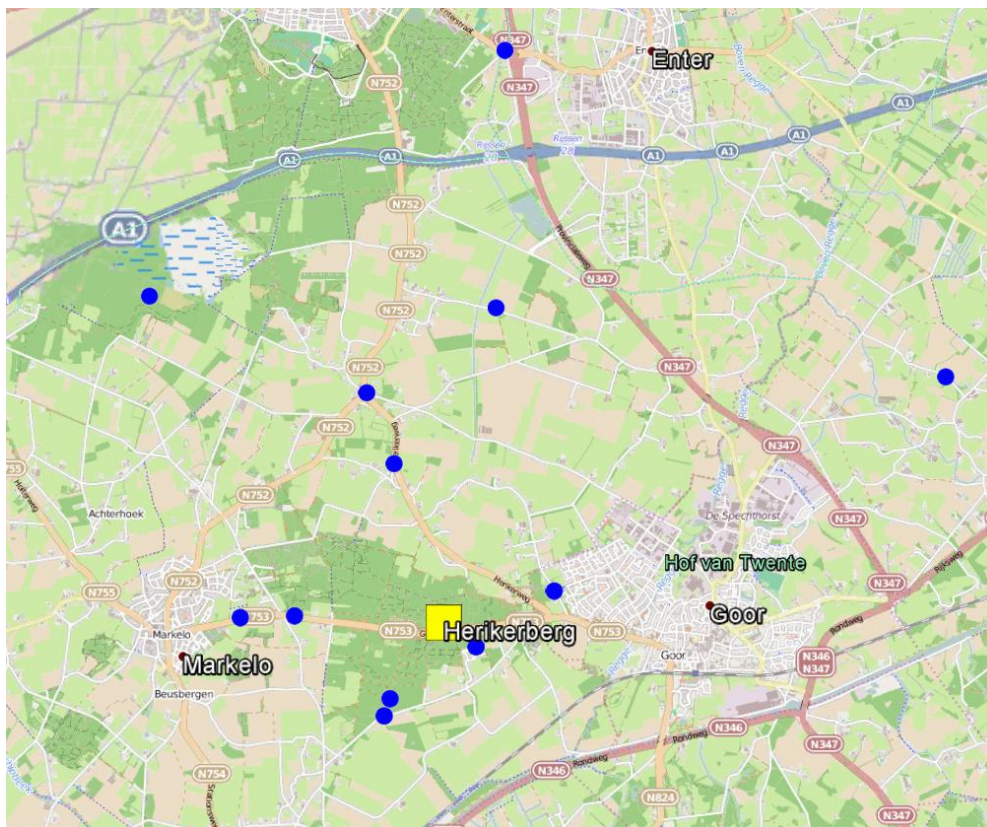
Productielokatie: Herikerberg
Winveld: Herikerberg







Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1971 t/m 1971	1974 t/m 1980	Wvp1	0,016	-1,93	0,60
1971 t/m 1971	1997 t/m 2000	Wvp1	-1,084	-2,98	1,11
1974 t/m 1980	1997 t/m 2000	Wvp1	-0,984	-1,06	0,50



Conclusie

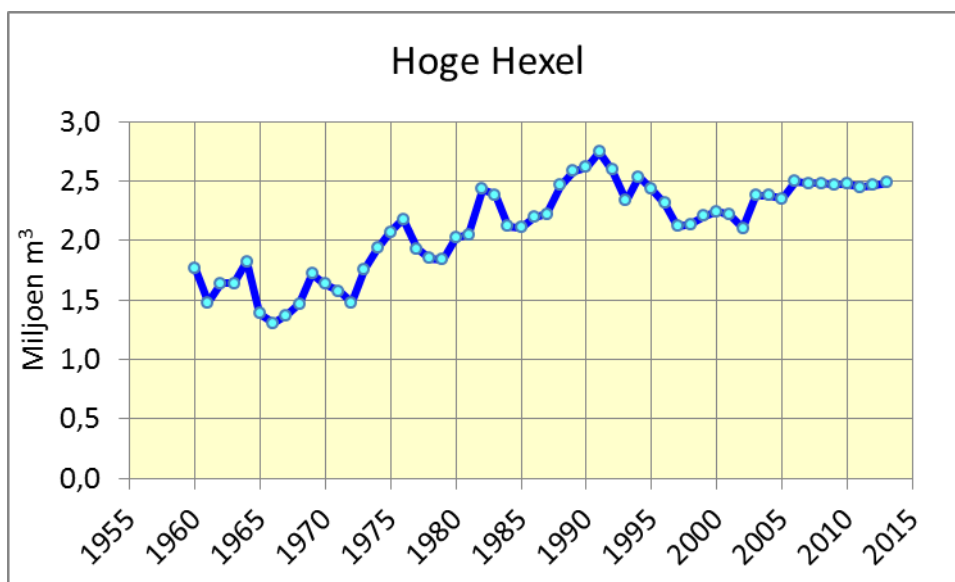
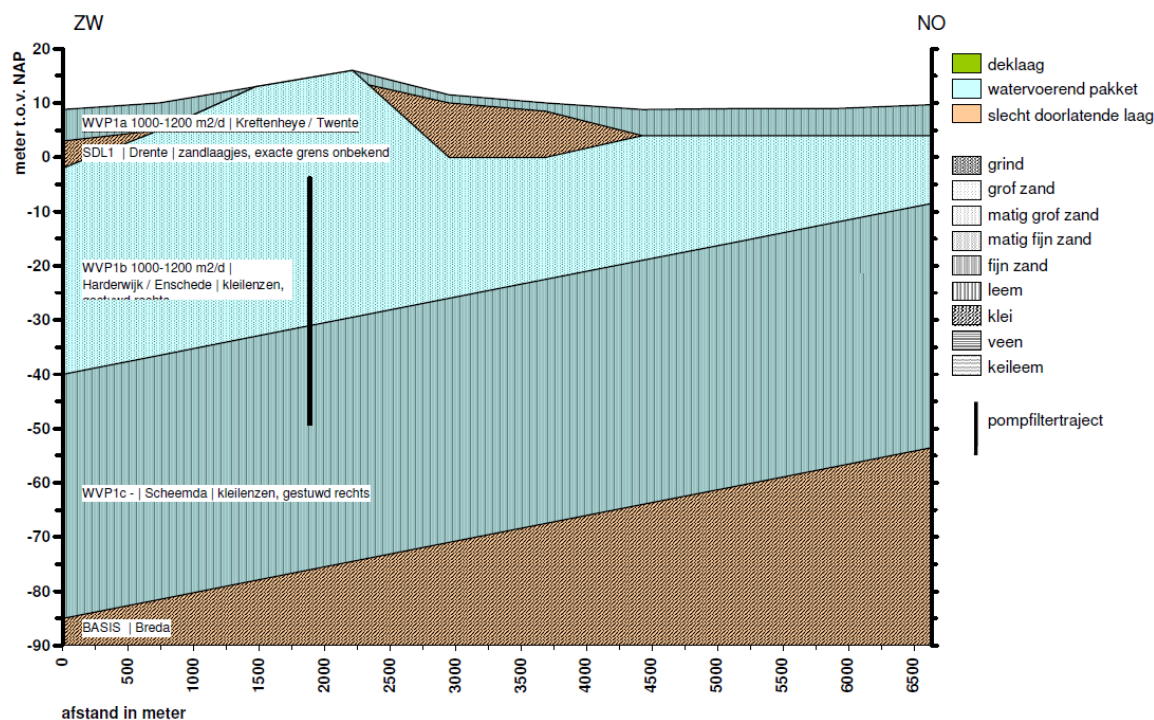
Over de periode vanaf 1971, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse is een voldoende aantal grondwaterstandreeksen beschikbaar, met een redelijke ruimtelijke spreiding. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten wij daarom hoog. Ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset is hoog. De potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden, beoordelen we vooralsnog echter als matig ('midden'), omdat er mogelijk sprake is van een complexe bodemopbouw, door gestuwde lagen.

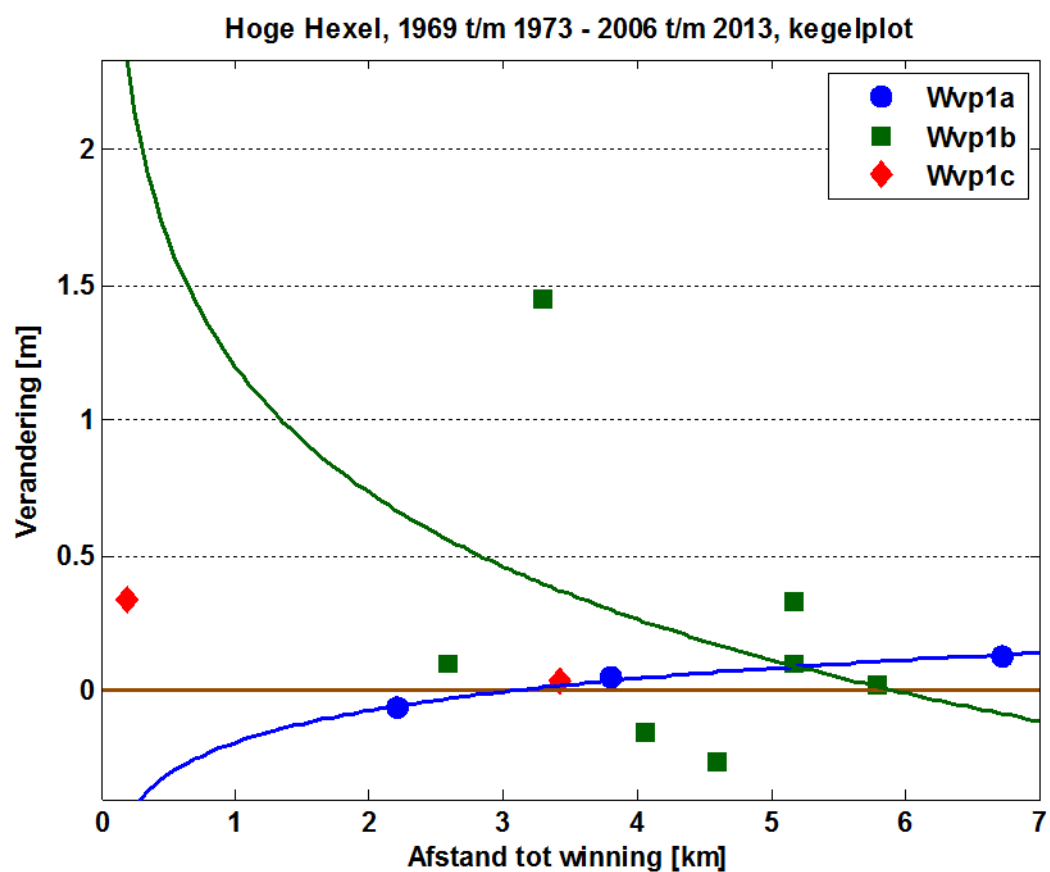
Hoge Hexel

Geohydrologische factsheet, profiel

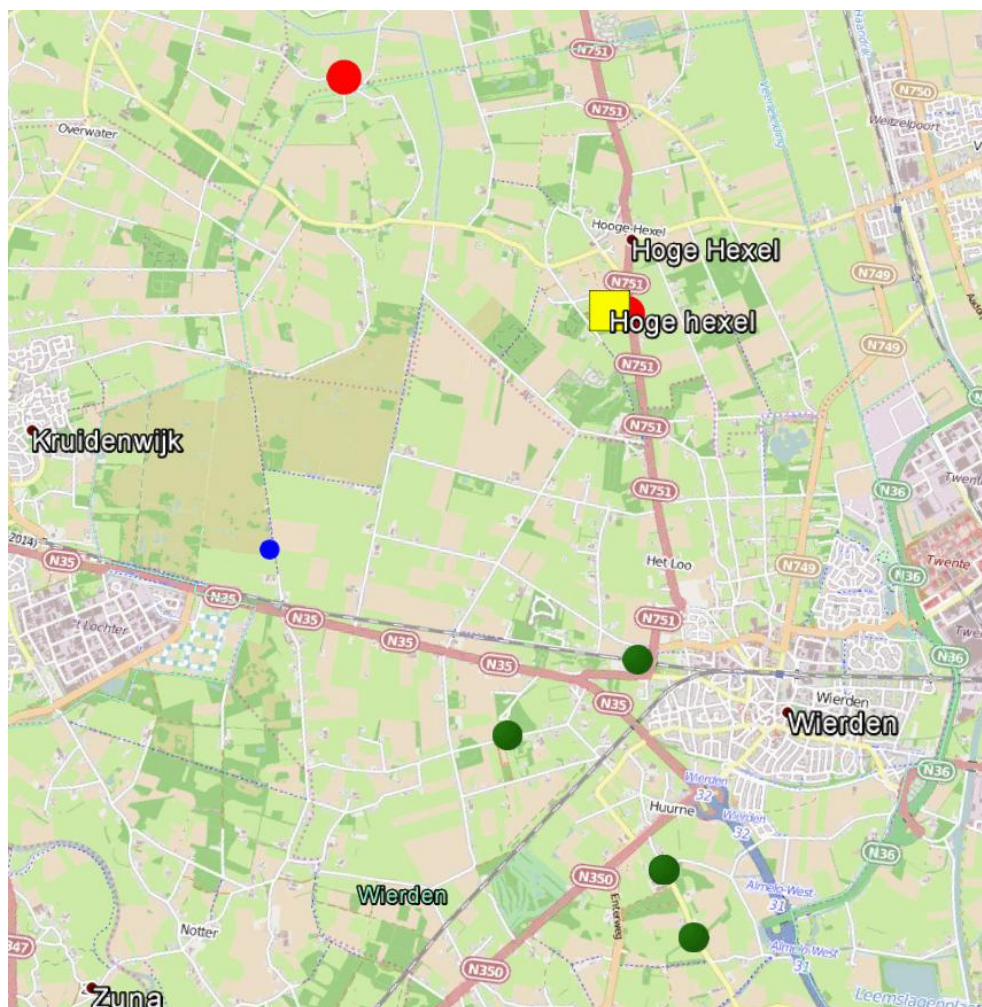
Productielokatie: Hoge Hexel

Winveld: Hoge Hexel





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1969 t/m 1973	2006 t/m 2013	Wvp1a	0,393	0,84	0,23
		Wvp1b	-1,552	0,84	0,23
		Wvp1c	-0,240	0,84	0,23



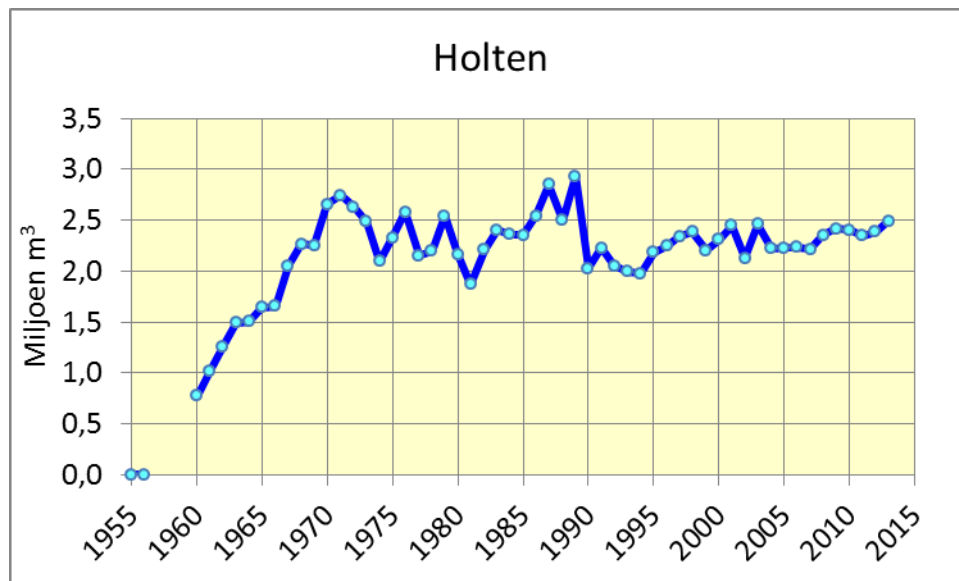
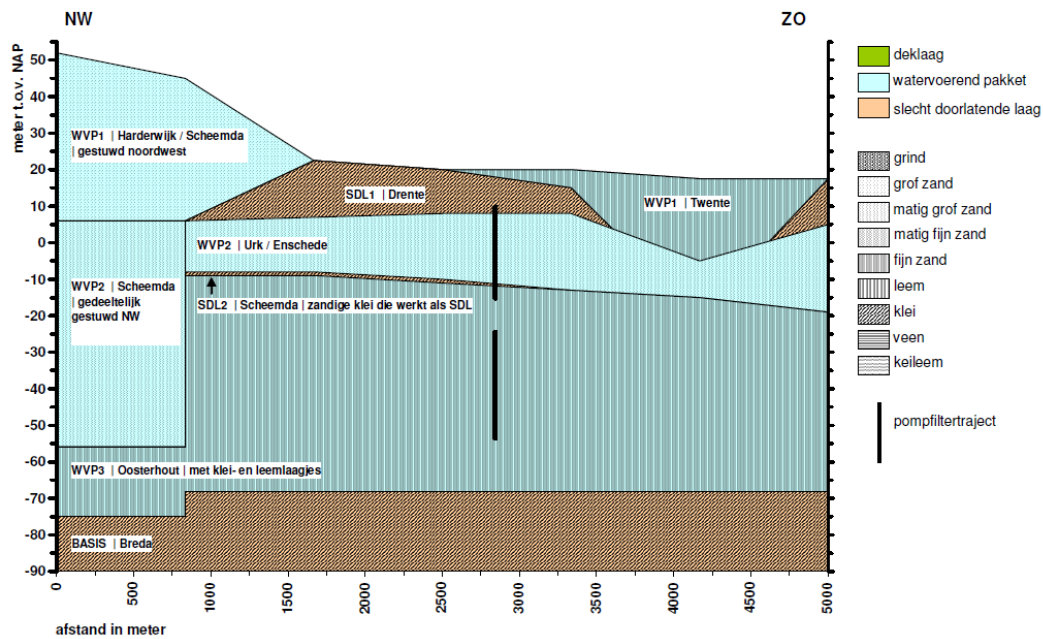
Conclusie

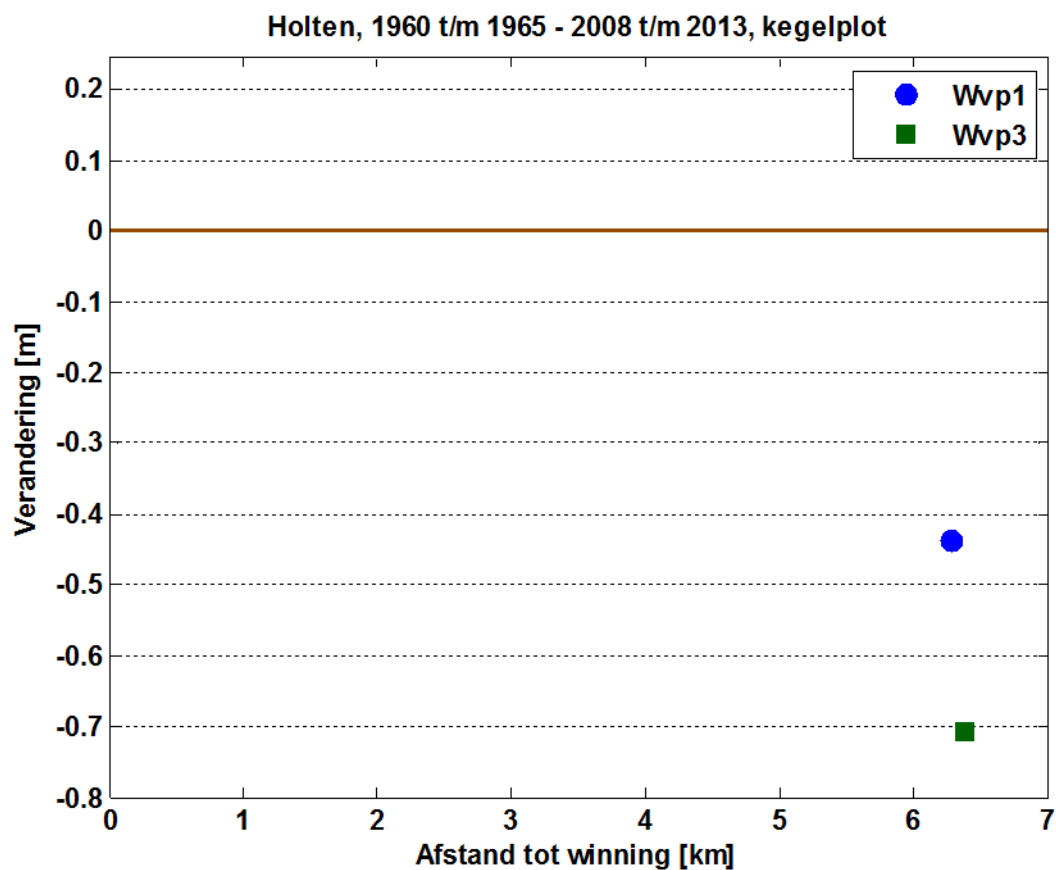
Er is slechts één watervoerend pakket dat een onderscheidbare invloed van de winning vertoont over de periode vanaf 1969, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlaagingsbeeld met tijdreeksanalyse. Maar over deze periode zijn er te weinig grondwaterstandreeksen van dat pakket beschikbaar. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld is daardoor laag. Ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset is laag vanwege het geringe aantal reeksen.

Holten

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Holten
Winveld: Holten





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	Wvp1		1,12	-0,26
		Wvp3		1,12	-0,26

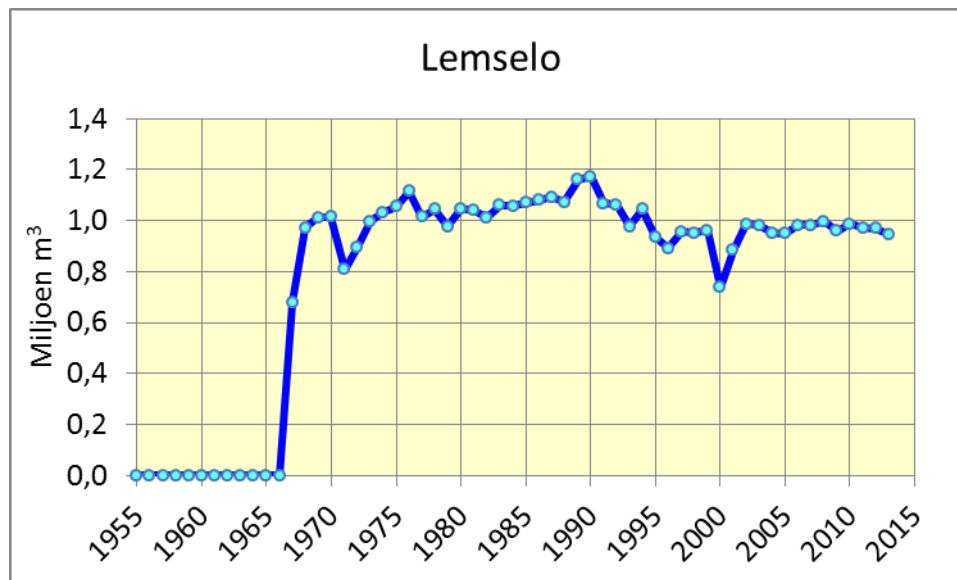
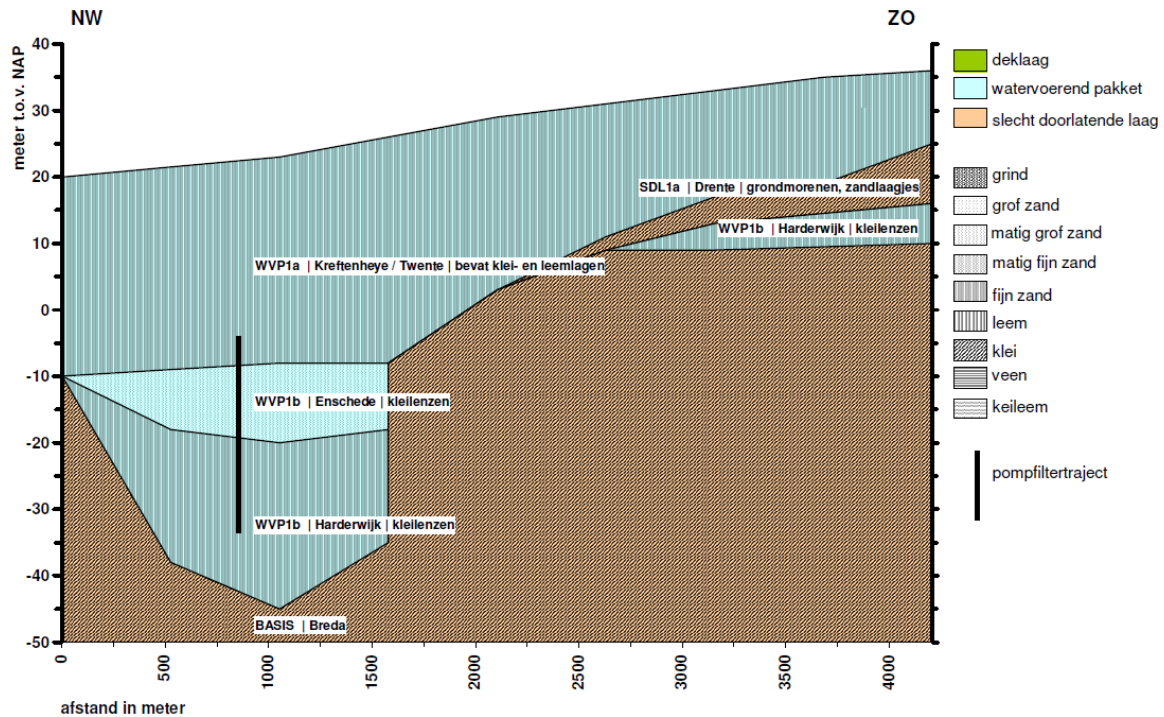
Conclusie

Over de periode vanaf 1960, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er te weinig grondwaterstandreeksen beschikbaar. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld is daardoor laag, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset.

Lemselo

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Weerselo
Winveld: Weerselo



Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1935 t/m 1966	2002 t/m 2013			0,97	-0,29

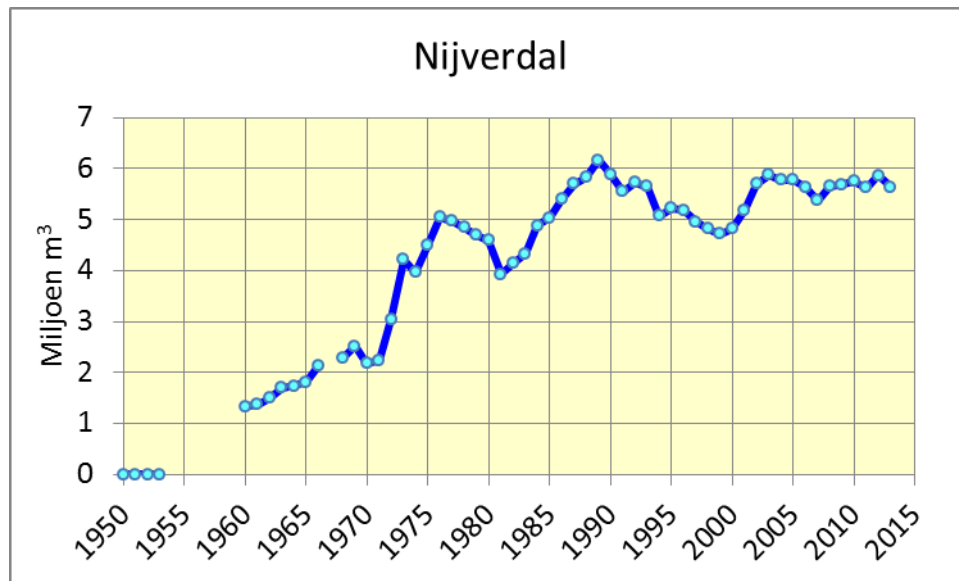
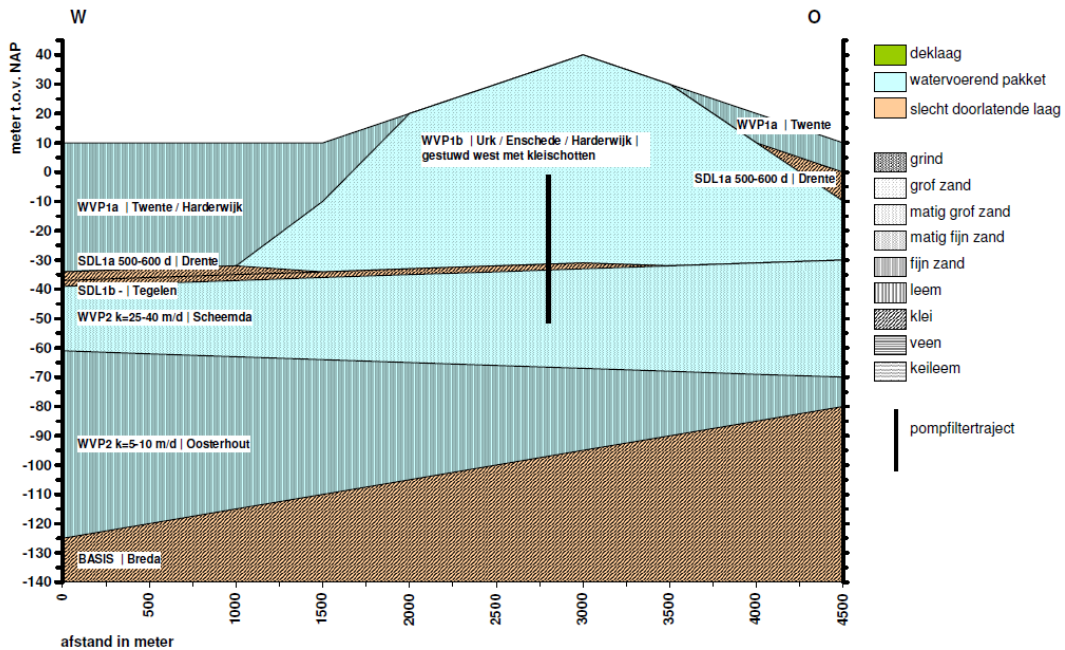
Conclusie

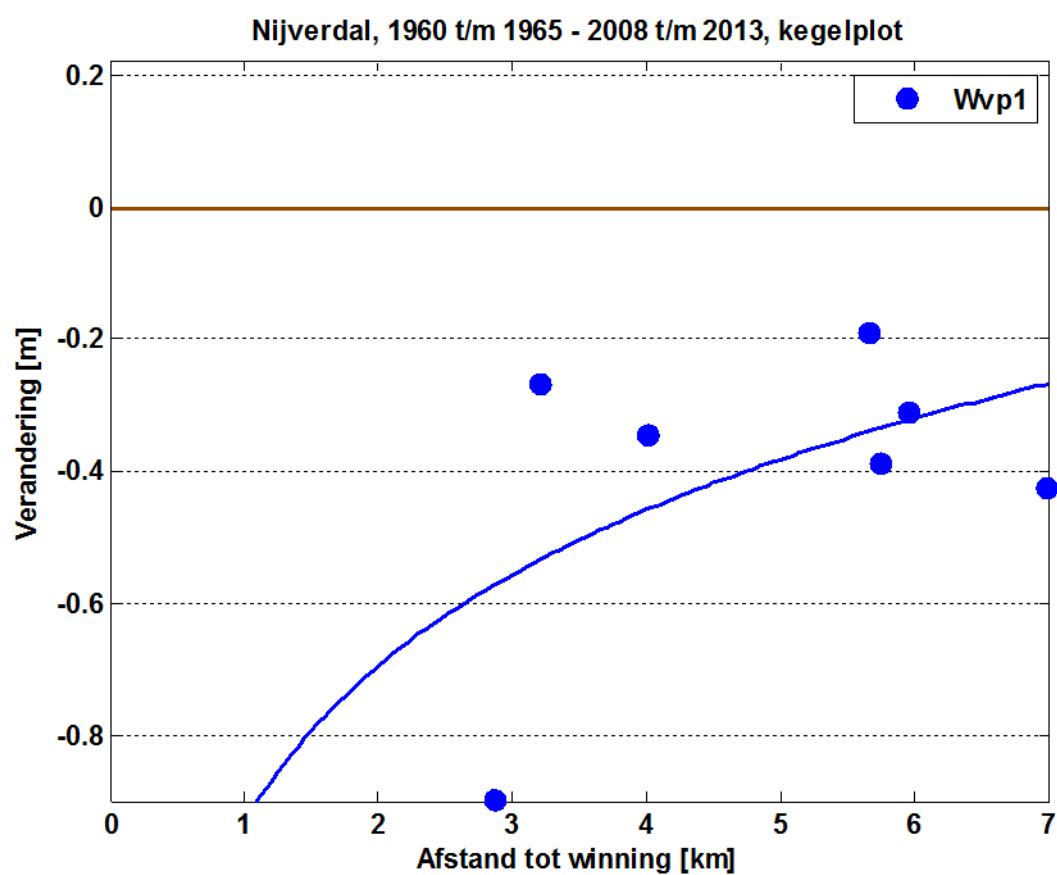
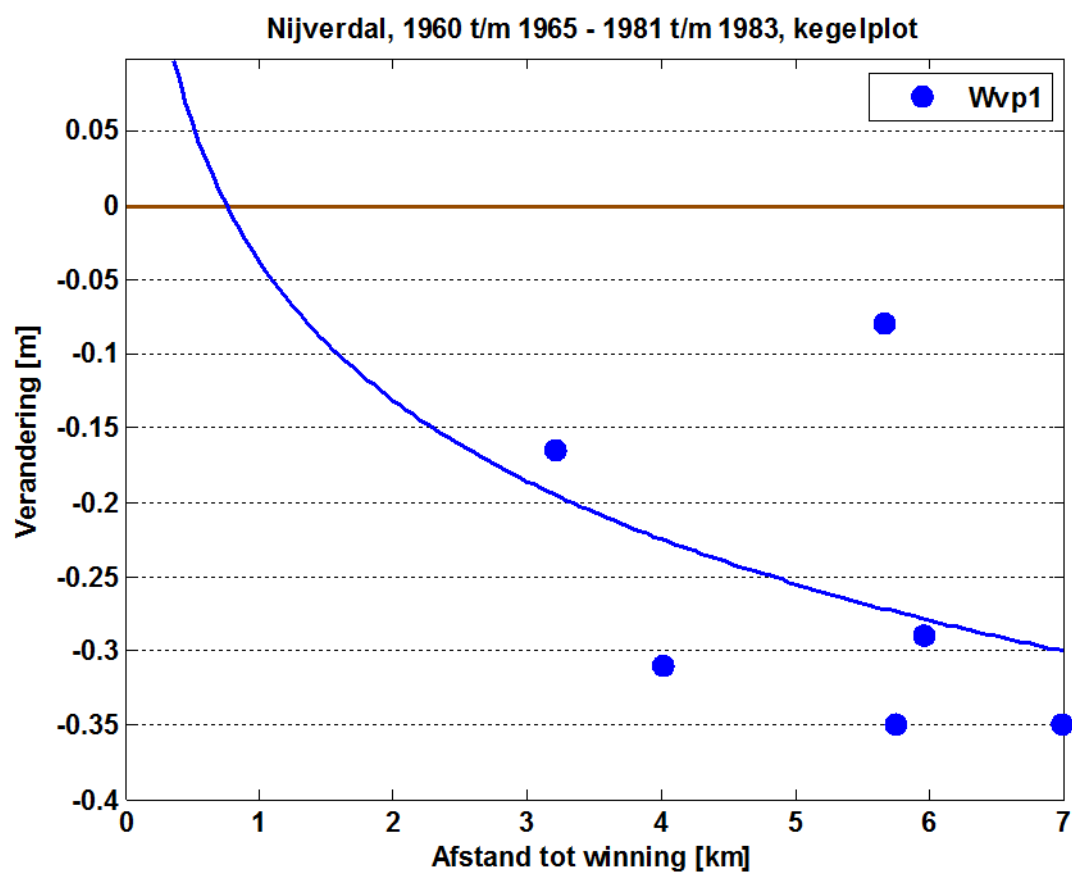
Over de periode met een duidelijke verandering van de hoeveelheid winning zijn er te weinig grondwaterstandreeksen beschikbaar. De haalbaarheid van het met tijdreeksanalyse afleiden van een stationair verlagingsbeeld is daardoor laag, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset.

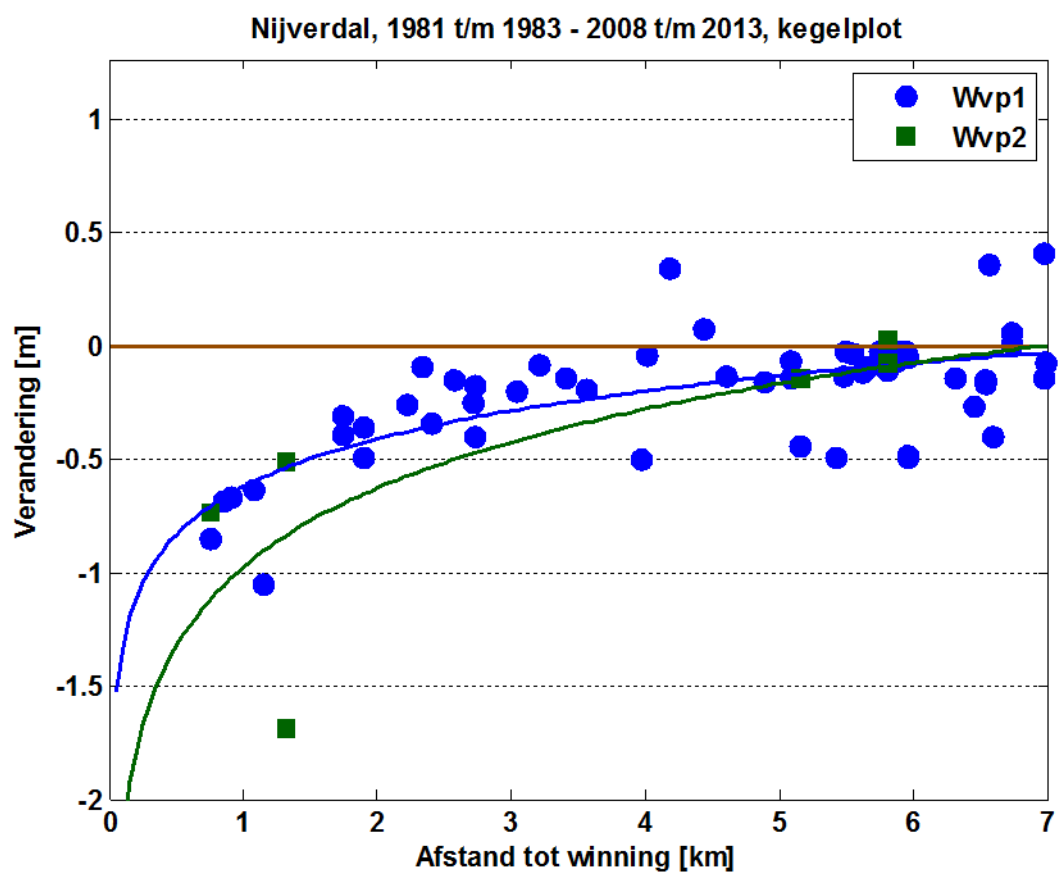
Nijverdal

Geohydrologische factsheet, profiel

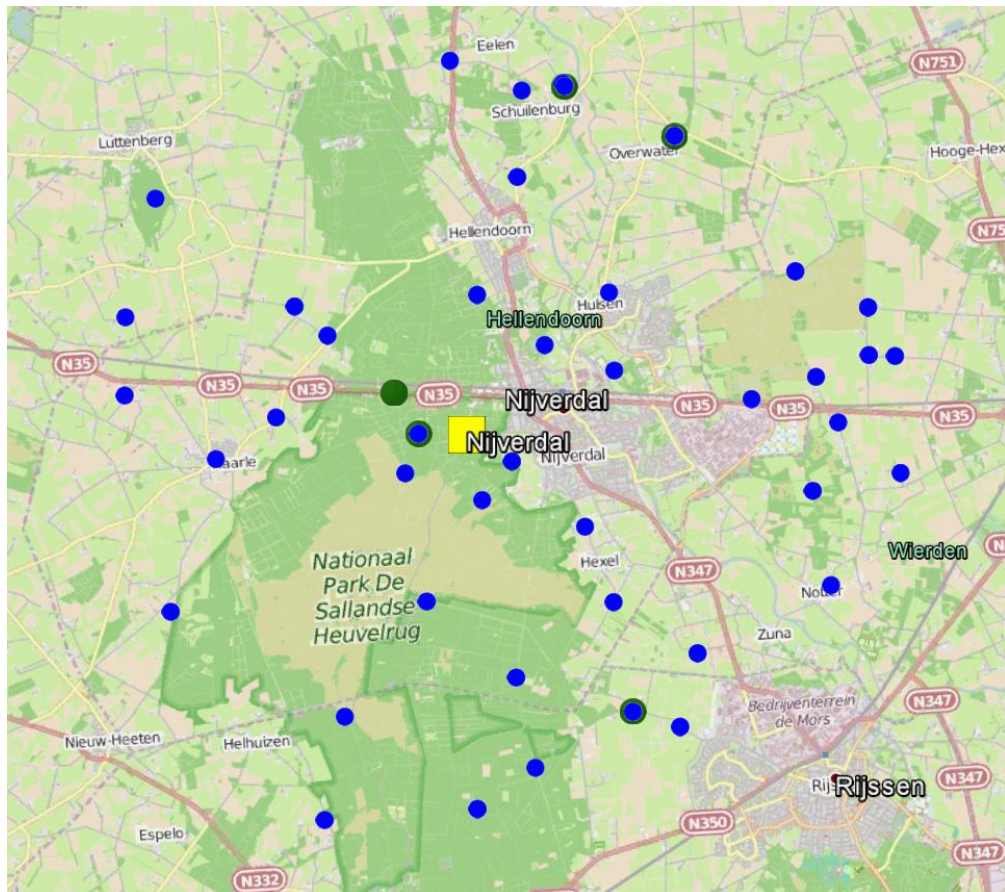
Productielokatie: Nijverdal
Winveld: Nijverdal







Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1960 t/m 1965	1981 t/m 1983	Wvp1	-0,310	2,56	-0,29
1960 t/m 1965	2008 t/m 2013	Wvp1	0,786	4,13	-0,26
1981 t/m 1983	2008 t/m 2013	Wvp1	0,701	1,57	0,03
		Wvp2	1,158	1,57	0,03



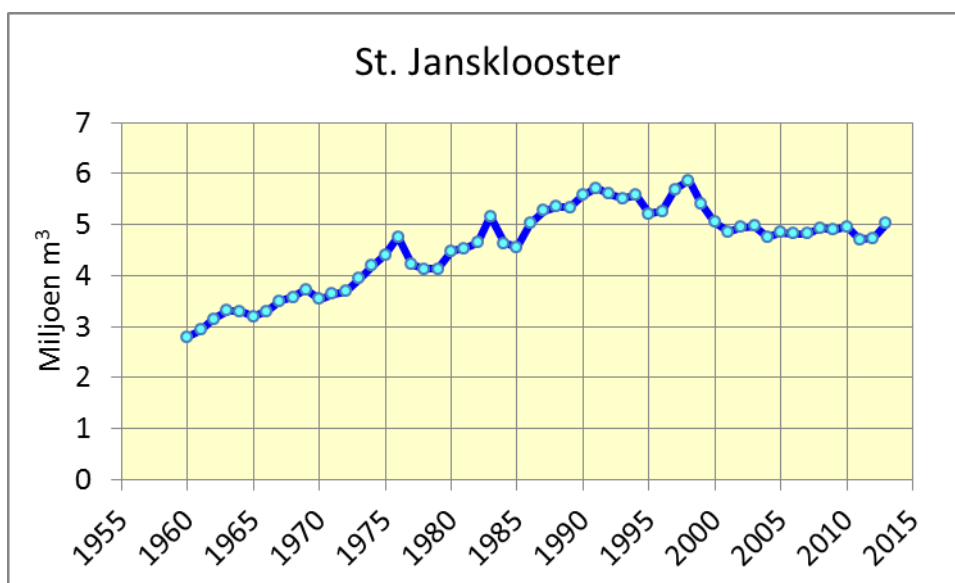
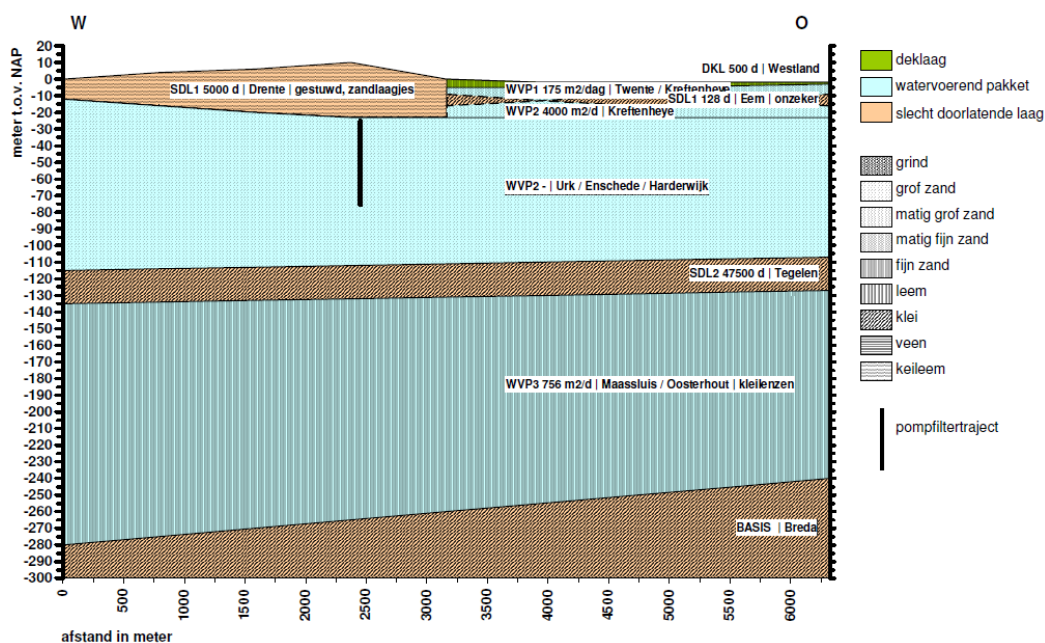
Conclusie

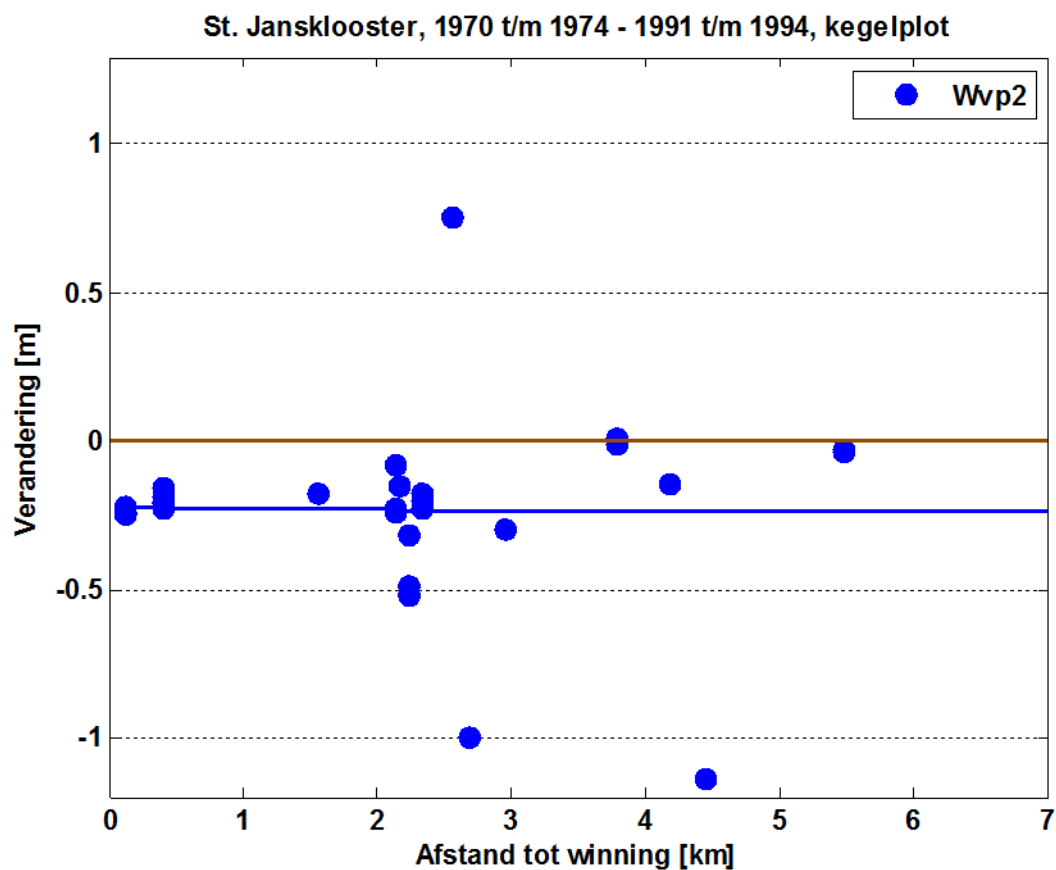
Over de periode vanaf 1981, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verla-
gingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er voldoende grondwaterstandreeksen beschikbaar, met ook
een goede ruimtelijke spreiding. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten
wij daarom hoog. Ook de potentie van het beeld als validatie- of ijkset is hoog. De potentie om met
het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden, beoordelen we vooralsnog echter als matig
(‘midden’), omdat er mogelijk sprake is van een complexe bodemopbouw, door gestuwde lagen.

St. Jansklooster

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: St. Jansklooster
Winveld: St. Jansklooster





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1970 t/m 1974	1991 t/m 1994	Wvp2	-0,010	1,80	0,24

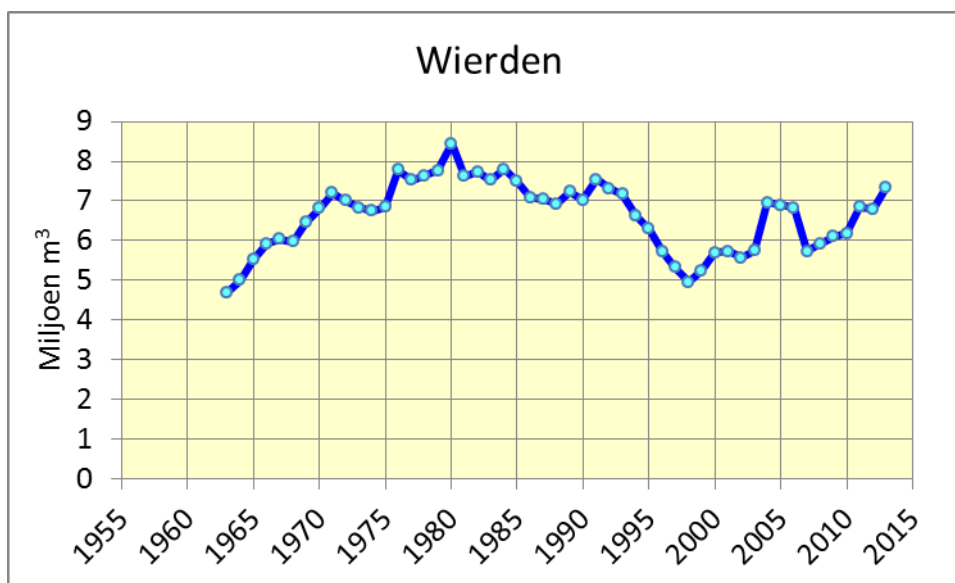
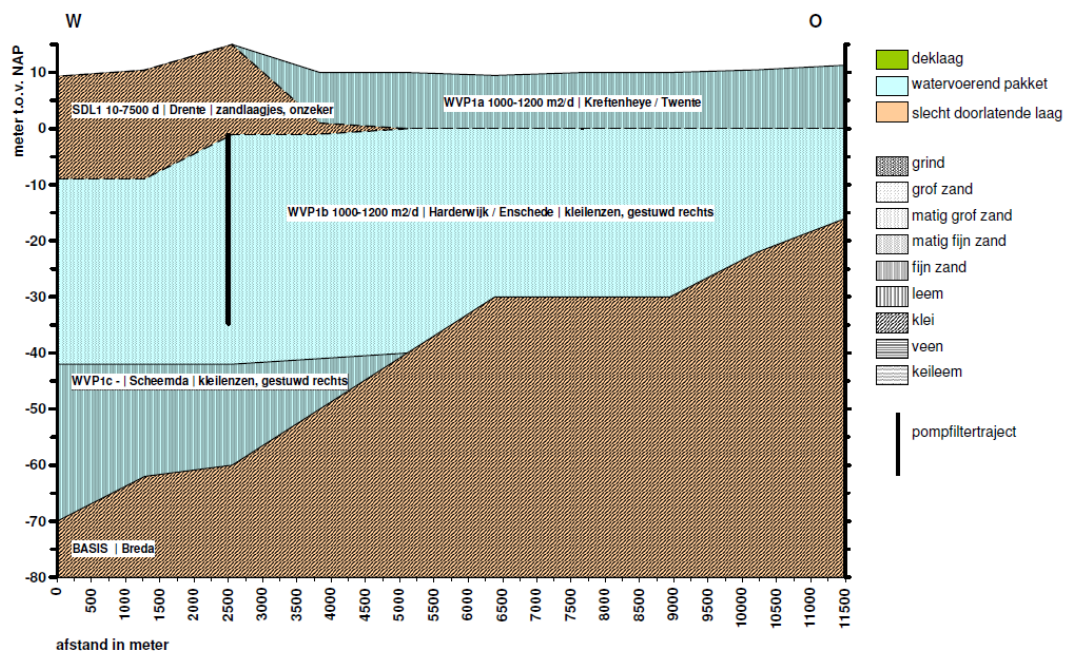
Conclusie

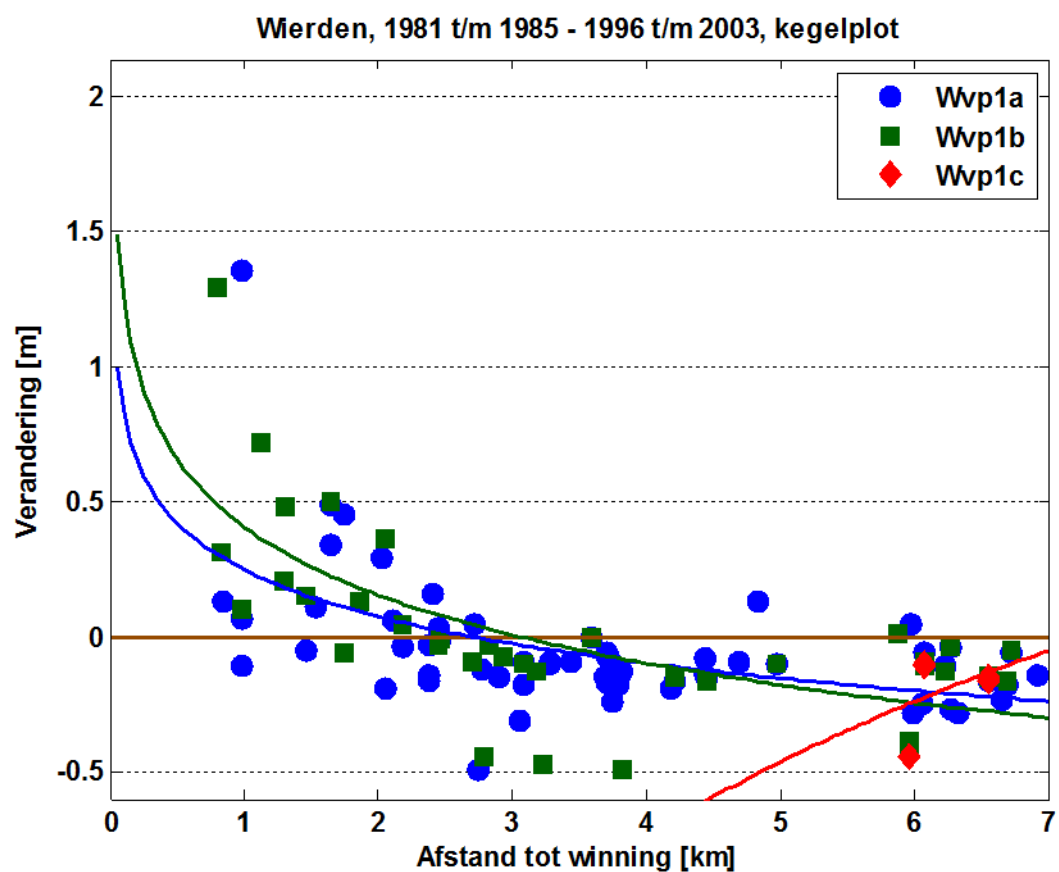
Over de periode vanaf 1970, met een duidelijke verandering van de winning is er geen onderscheidbare verlagingskegel waarneembaar. De haalbaarheid van het met tijdreeksanalyse afleiden van een stationair verlagingsbeeld is daardoor laag, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset.

Wierden

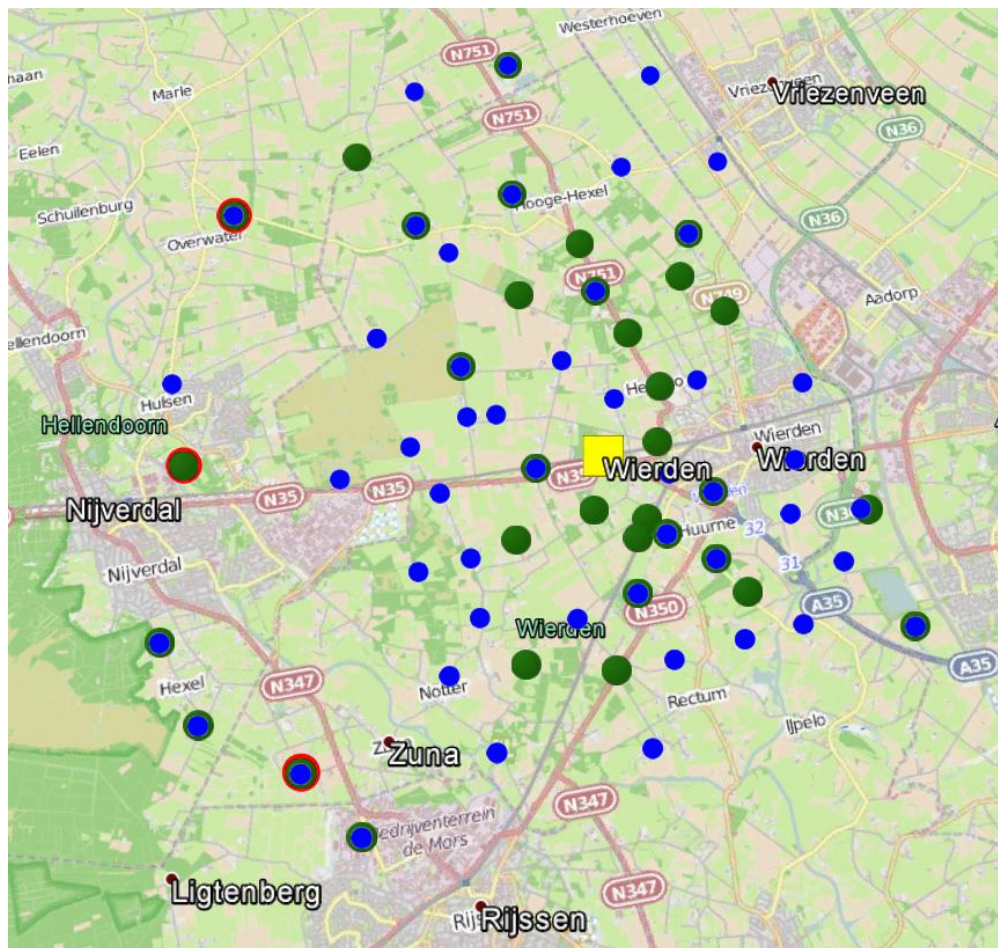
Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Wierden
Winveld: Wierden





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1981 t/m 1985	1996 t/m 2003	Wvp1a	-0,575	-2,14	0,16
		Wvp1b	-0,834	-2,14	0,16
		Wvp1c	2,818	-2,14	0,16



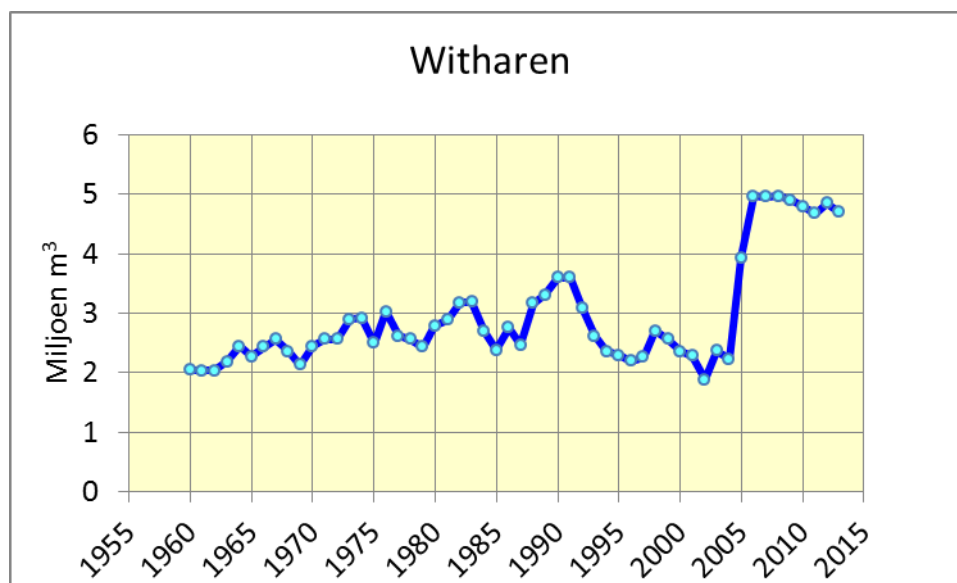
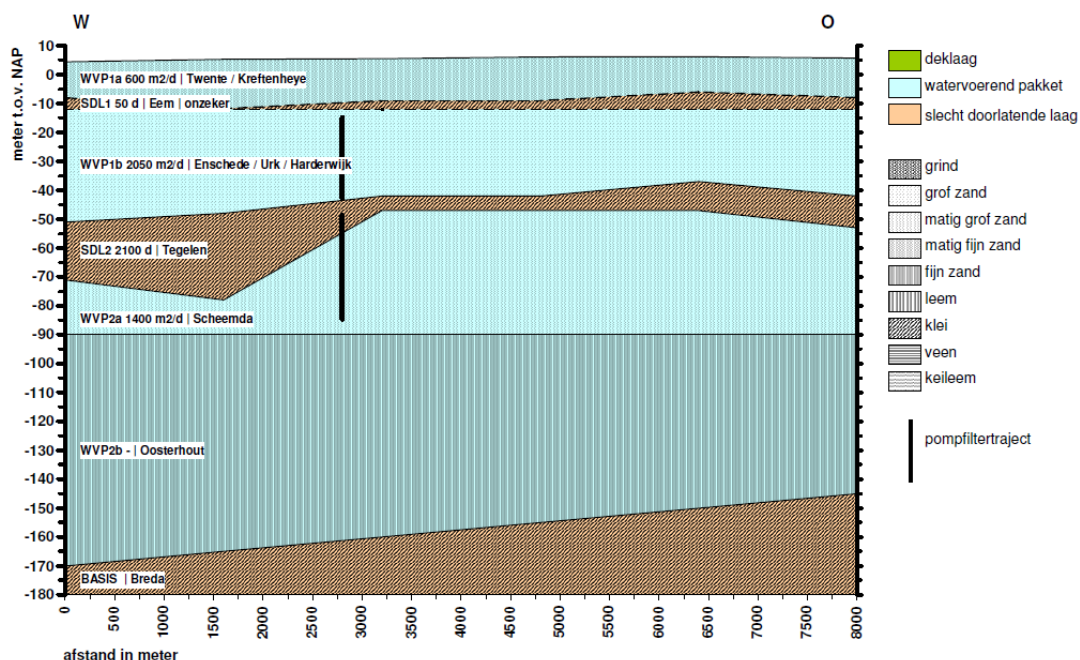
Conclusie

Over de periode vanaf 1981, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verla-
gingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er voldoende grondwaterstandreeksen beschikbaar, met ook
een goede ruimtelijke spreiding. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten
wij hoog, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset. Gezien de niet al te complexe
bodemopbouw achten wij ook de potentie hoog om met het beeld betrouwbare bodemparameters
af te leiden.

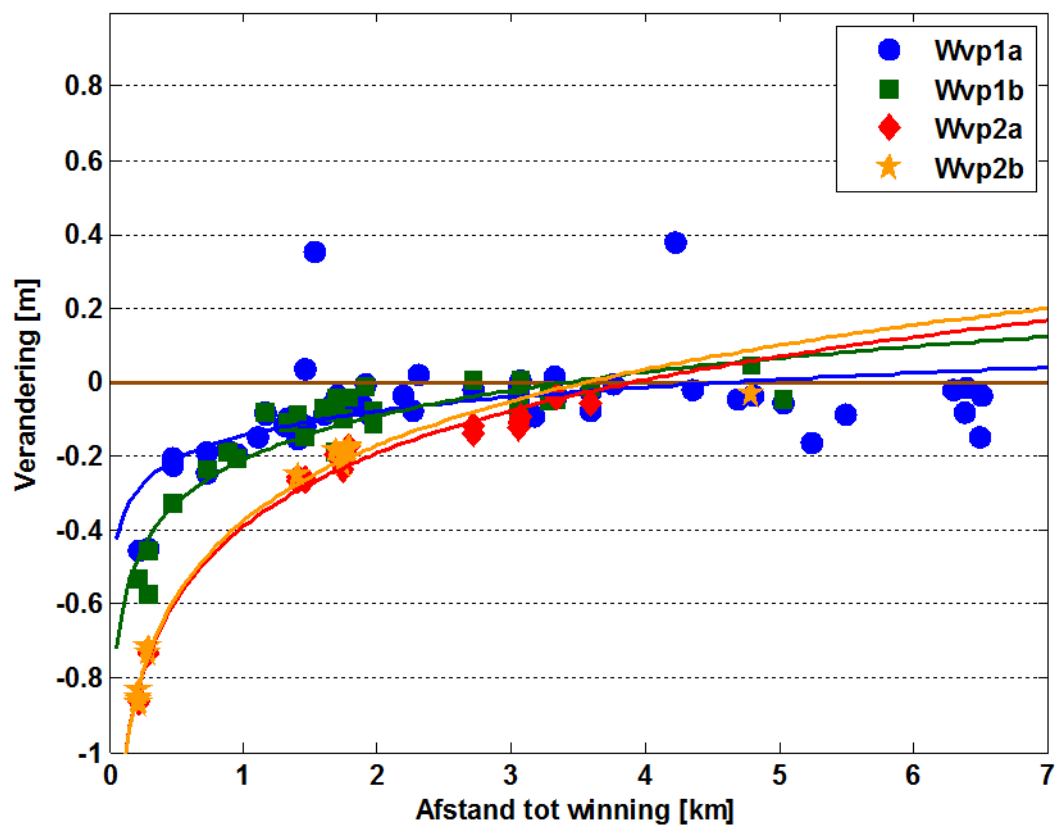
Witharen

Geohydrologische factsheet, profiel

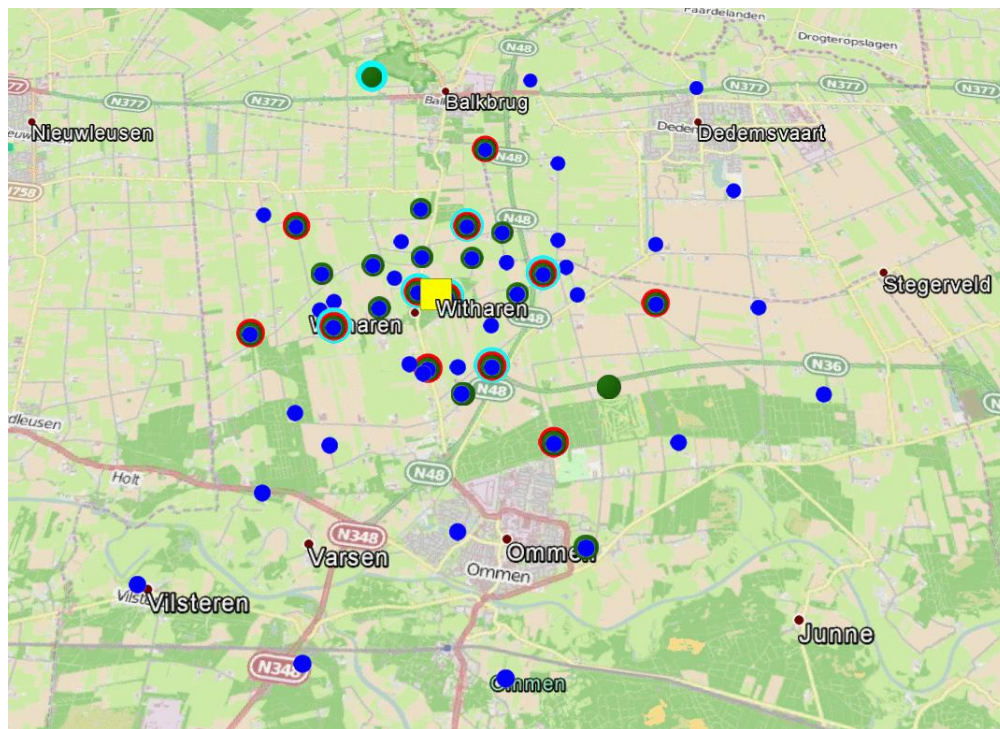
Productielokatie: Witharen
Winveld: Witharen



Witharen, 1996 t/m 2004 - 2007 t/m 2013, kegelplot



Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1996 t/m 2004	2007 t/m 2013	Wvp1a	0,216	2,52	-0,08
		Wvp1b	0,393	2,52	-0,08
		Wvp2a	0,658	2,52	-0,08
		Wvp2b	0,680	2,52	-0,08



Conclusie

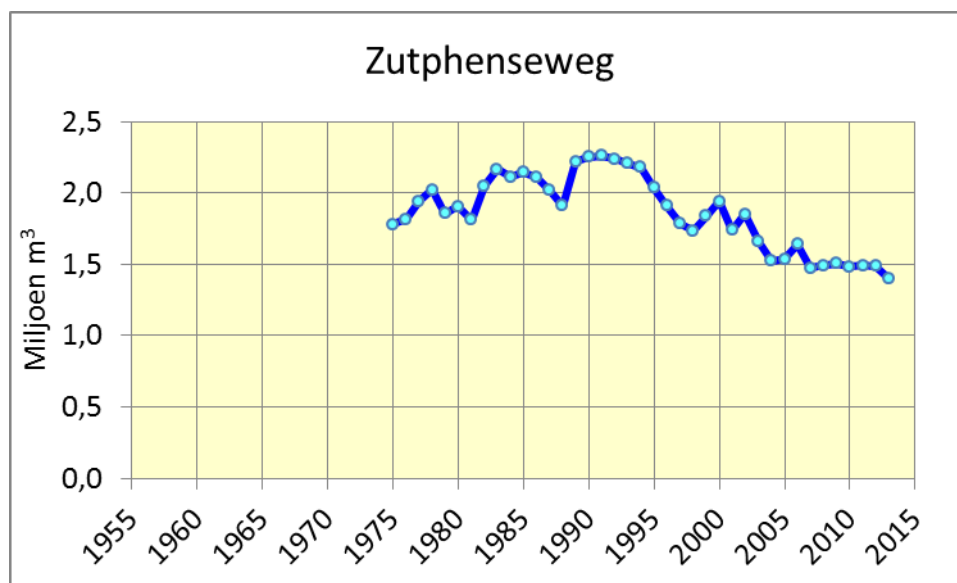
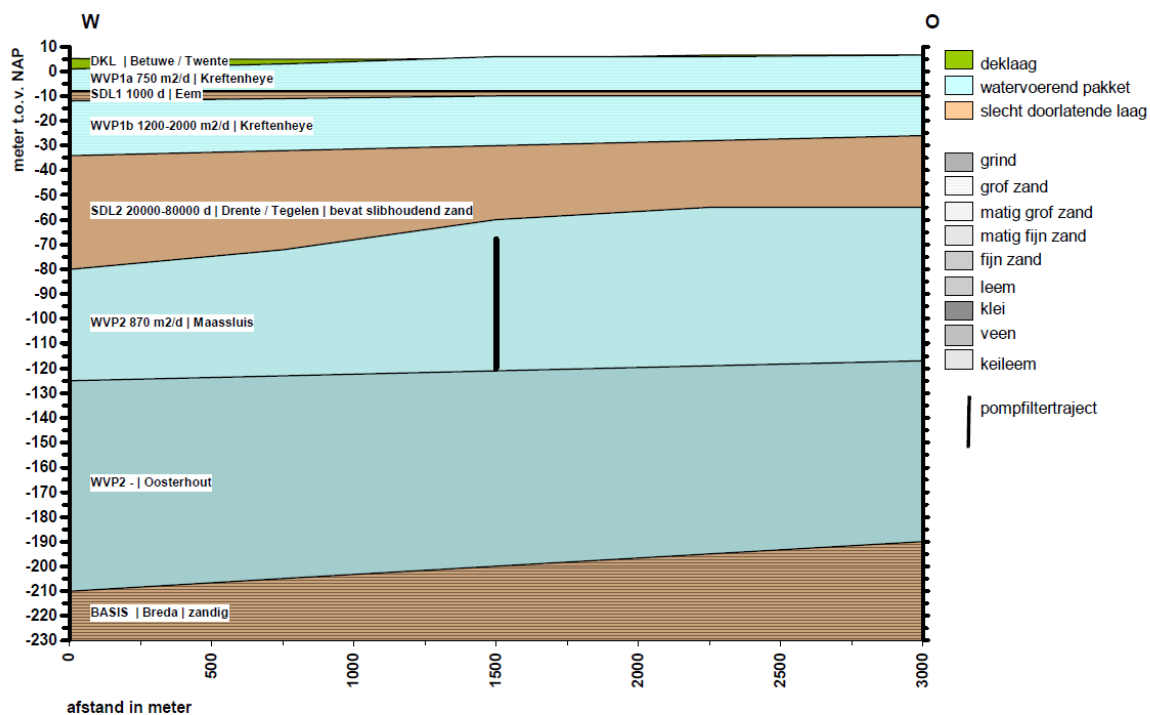
Over de periode vanaf 1996, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlagingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er voldoende grondwaterstandreeksen beschikbaar, met ook een goede ruimtelijke spreiding. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten wij hoog, evenals de potentie van het beeld als validatie- of ijkset. Gezien de relatief eenvoudige bodemopbouw achten wij ook de potentie hoog om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden.

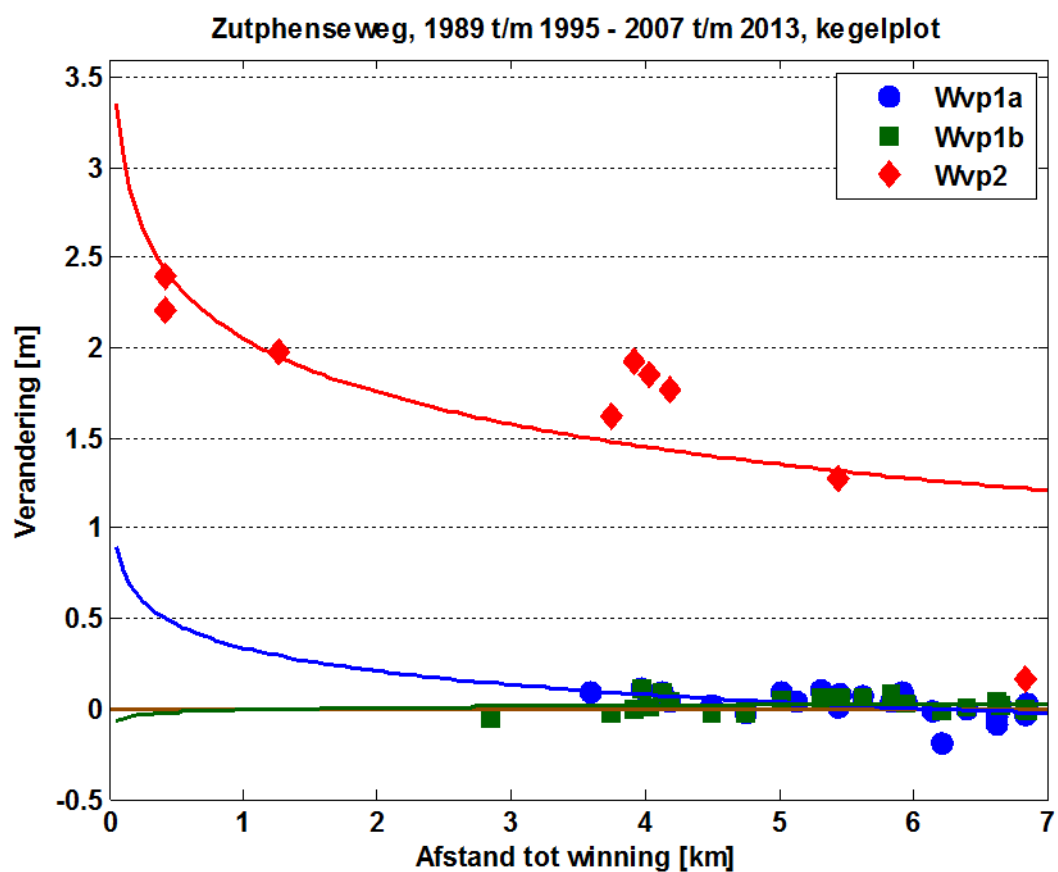
Zutphenseweg

Geohydrologische factsheet, profiel

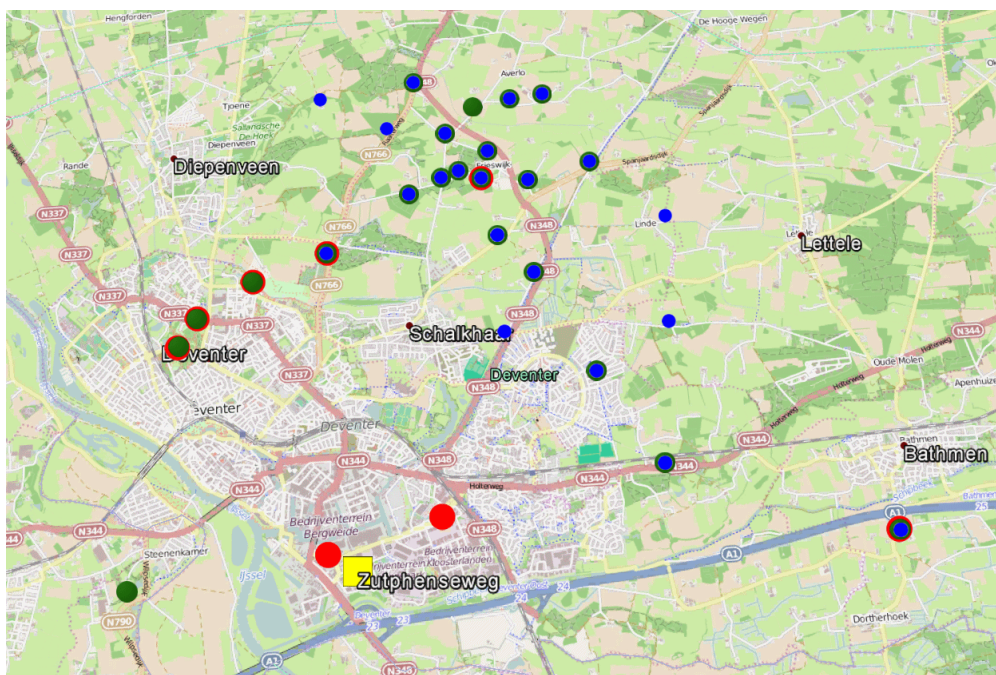
Productielokatie: Deventer

Winveld: Deventer (Zutphenseweg)





Periode 1	Periode 2	Wvp	Helling b_1	Q2-Q1 [miljn m ³ /j]	PNO2-PNO1
1989 t/m 1995	2007 t/m 2013	Wvp1a	-0,430	-0,72	0,13
		Wvp1b	0,045	-0,72	0,13
		Wvp2	-1,000	-0,72	0,13



Conclusie

Over de periode vanaf 1989, die perspectieven biedt voor het afleiden van een stationair verlaagingsbeeld met tijdreeksanalyse zijn er wel meerdere grondwaterstandreeksen beschikbaar, maar slechts twee op minder dan 3 km afstand. De haalbaarheid van het afleiden van een dergelijk beeld achten wij daarom matig ('midden'). Hetzelfde oordeel geldt voor de potentie van het beeld als validatie- of ijkset en voor de potentie om met het beeld betrouwbare bodemparameters af te leiden.

Bijlage 2 – Gegevens van reeds afgeleide verlagingsbeelden (digitaal)

Het Excelbestand *Gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx* is bij dit rapport gevoegd als digitale bijlage. Het bevat de relevante gegevens van de reeds eerder met tijdreeksanalyse afgeleide stationaire verlagingsbeelden van de drinkwaterwinningen Boerhaar, Brucht, Hammerflier en Rodenmors. Het bestand dient om het valideren en/of ijken mogelijk te maken. Het bevat vier werkbladen, één voor elk verlagingsbeeld, met de onderstaande soorten gegevens.

1. Algemene gegevens

- literatuurverwijzing naar het achterliggende rapport;
- aantal pompputten;
- X- en Y-coördinaten zwaartepunt winning volgens Rijksdriehoekstelsel [m], zonodig per periode;
- bijzonderheden, zoals tussentijdse verandering oppervlaktewatersysteem door specifiek ingevoerde maatregelen.

2. Metadata en resultaten tijdreeksanalyse per peilfilter

- peilbuiscode;
- filternummer;
- X- en Y-coördinaten volgens Rijksdriehoekstelsel [m];
- maaiveldshoogte [m NAP];
- bovenkant filter [m NAP];
- onderkant filter [m NAP];
- watervoerend pakket;
- afstand peilbuis tot zwaartepunt winning [km];
- geschatte stationaire verandering door winning [m/ Q miljoen m^3/j], waarbij Q verschilt per winning. De waarde is vet gedrukt als er sprake is van een statistisch significante verlaging (bij 95% betrouwbaarheid);
- standaardfout van die schatting [m/ Q miljoen m^3/j];
- T-waarde, bepaald als de ratio van de schatting en zijn standaardfout. De cel is lichtblauw als er sprake is van een statistisch significante verlaging (bij 95% betrouwbaarheid) en is lichtoker als er sprake is van een statistisch significante verhoging (bij 95% betrouwbaarheid).

3. Grafieken

- kegelplot;
- historisch verloop van de hoeveelheid grondwaterwinning;
- schema van de geohydrologische opbouw van de ondergrond.