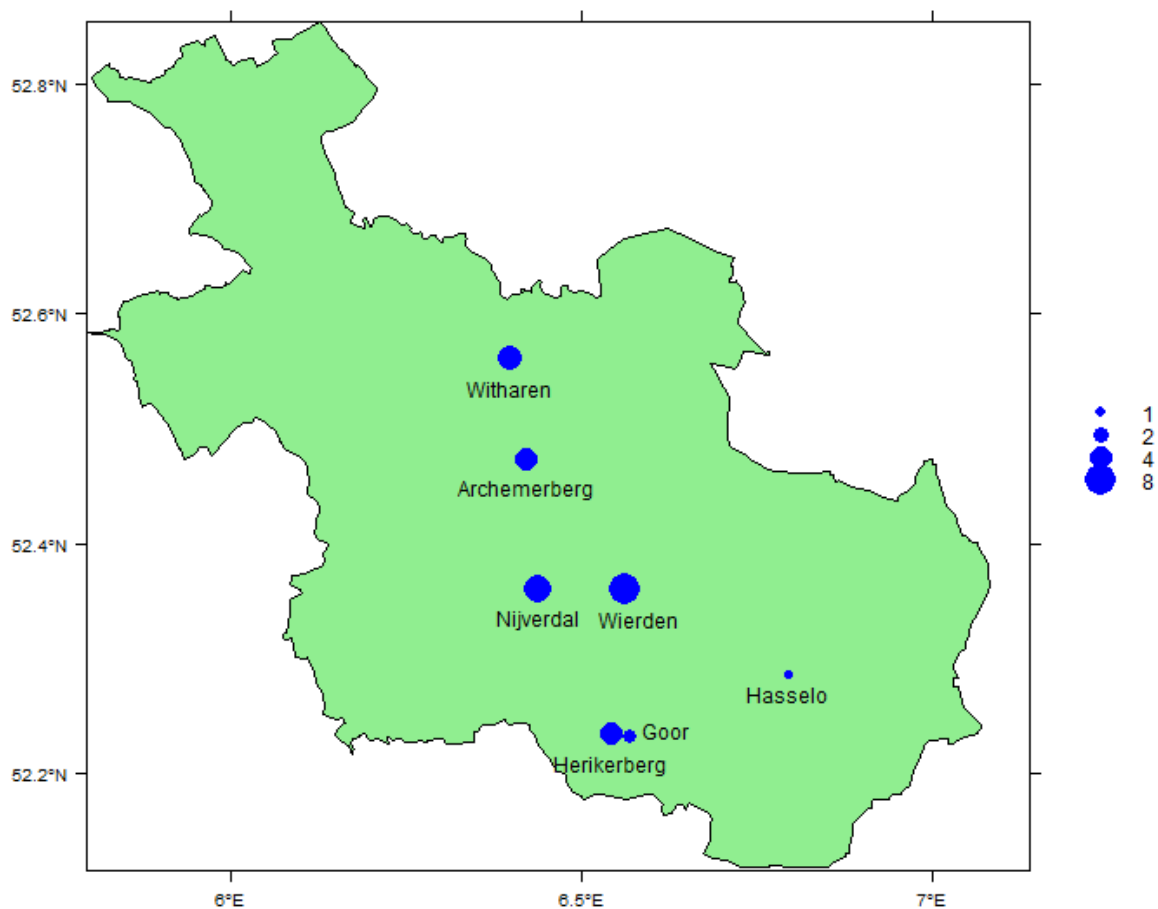


Verlagingsbeelden zeven Overijsselse drinkwaterwinningen, gereconstrueerd met tijdreeksmodellering grondwaterstanden



Modellering en Optimalisatie

Verlagingsbeelden zeven Overijsselse drinkwaterwinningen, gereconstrueerd met tijdreeksmodellering grondwaterstanden

Aanvrager:

Provincie Overijssel, mede namens VitenS

Auteurs:

drs. Paul K. Baggelaar (*Icastat*)

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

12 juni 2017



Modellering en Optimalisatie

Icastat – Niagara 18 – 1186 JP Amstelveen

INHOUD

SAMENVATTING.....	3
1 INLEIDING.....	6
1.1 ACHTERGRONDEN	6
1.2 VRAAGSTELLING VAN DEZE STUDIE	8
1.3 HOOFDLIJNEN VAN ONZE AANPAK	8
1.4 UITGEVOERDE WERKZAAMHEDEN	9
1.5 INSTRUMENTARIUM	9
1.6 OVER DIT RAPPORT.....	10
2 VERZAMELEN EN VOORBEWERKEN BASISGEGEVENS.....	11
2.1 GRONDWATERSTANDEN.....	11
2.2 VERLOOP HOEVEELHEID DRINKWATERWINNING.....	14
2.2.1 <i>Vorbewerkingen door Vitens</i>	14
2.2.2 <i>Onze vorberewerkingen</i>	15
2.3 VERLOOP BEDRIJFSMATIGE EN AGRARISCHE GRONDWATERONTTREKKINGEN.....	17
2.4 VERLOOP NEERSLAG EN VERDAMPING	17
2.5 ANDERE RELEVANTE GEGEVENS	20
3 DETAILS STUDIEAANPAK	21
3.1 HOOFDKEUZEN VOOR DE MODELONTWIKKELING	21
3.1.1 <i>Keuze invoerreeksen</i>	21
3.1.2 <i>Keuze tijdsbasis</i>	22
3.1.3 <i>Keuze modelperiode</i>	23
3.1.4 <i>Keuze formulering transfermodellen</i>	23
3.2 ITERATIEVE MODELFORMULERING, -SCHATTING EN -VERIFICATIE	23
3.3 WIJZE VAN PRESENTATIE VAN DE MODELRESULTATEN.....	25
4 ARCHEMERBERG	27
4.1 GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	27
4.2 ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING.....	28
4.3 AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	30
4.4 RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	31
5 GOOR	36
5.1 GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	36
5.2 ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING.....	37
5.3 RELEVANTE ANDERE GRONDWATERONTTREKKINGEN	38
5.4 AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	39
5.5 RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	41
6 HASSELO.....	46
6.1 GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	46
6.2 ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING.....	47
6.3 RELEVANTE ANDERE GRONDWATERONTTREKKINGEN	48
6.4 AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	49

6.5	RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	50
7	HERIKERBERG	56
7.1	GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	56
7.2	ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING	57
7.3	RELEVANTE ANDERE GRONDWATERONTTREKKINGEN	58
7.4	AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	59
7.5	RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	61
8	NIJVERDAL	65
8.1	GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	65
8.2	ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING	68
8.3	RELEVANTE ANDERE GRONDWATERONTTREKKINGEN	70
8.4	AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	71
8.5	RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	73
9	WIERDEN	78
9.1	GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	78
9.2	ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING	79
9.3	RELEVANTE ANDERE GRONDWATERONTTREKKINGEN	82
9.4	AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	82
9.5	RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	84
9.6	VOORBEHOUD OVER DIT VERLAGINGSBEELD	88
10	WITHAREN	89
10.1	GEOGRAFISCHE EN GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE	89
10.2	ONTWIKKELING VAN DE DRINKWATERWINNING	90
10.3	AANPAK TIJDREEKSMODELLERING	93
10.4	RESULTATEN TIJDREEKSMODELLERING	94
11	GEbruiken VAN DE VERLAGINGSBEELDEN	102
11.1	SPECIFIEKE KENMERKEN EMPIRISCH GERECONSTRUEERD VERLAGINGSBEELD	102
11.2	GEbruIKSADVIEZEN EMPIRISCH GERECONSTRUEERD VERLAGINGSBEELD	103
12	AANGEHAALDE LITERATUUR	105
	BIJLAGE: TOELICHTING OP DE KAARTEN MET VERLAGINGSBEELDEN	107

Samenvatting

In deze studie is voor zeven Overijsselse drinkwaterwinningen een grootschalig ruimtelijk beeld gereconstrueerd van de stationaire verlaging door de winning. Daartoe zijn tijdreeksmodellen ontwikkeld van een groot aantal langjarige grondwaterstand- en stijghoogtereeksen, die zijn gemeten in peilfilters rond de betreffende winningen. De Provincie Overijssel en waterbedrijf Vitens hebben behoefte aan dergelijke onafhankelijk bepaalde empirische verlagingbeelden, omdat daarmee de door hun grondwatermodellen berekende effecten van grondwateronttrekking voor de openbare drinkwatervoorziening objectief op waarde kunnen worden beoordeeld.

Toelichting op keuze drinkwaterwinningen

Van de 21 nog actieve Overijsselse drinkwaterwinningen zijn er vijf waarvan bij voorgaande studies al verlagingbeelden zijn gereconstrueerd met tijdreeksmodellering, namelijk Boerhaar, Hammerflier, Losser, Manderveen (met Manderheide) en Rodenmors. Verder zijn er ook nog met tijdreeksmodellering gereconstrueerde verlagingbeelden beschikbaar van twee inmiddels gestopte Overijsselse drinkwaterwinningen, namelijk Brucht (gestopt in 2006) en Denekamp (gestopt in 2002). Van de 16 overige Overijsselse drinkwaterwinningen is in een aan deze studie voorafgaande definitiestudie beoordeeld of de historische ontwikkelingen van de grondwaterwinning en de gegevens daarover geschikt zijn om een verlagingbeeld te reconstrueren. Dit bleek het geval voor zeven winningen, namelijk Archemerberg, Goor, Hasselo, Herikerberg, Nijverdal, Wierden en Witharen. Dat zijn de hier beschouwde winningen.

Tijdreeksmodellering

Voor elk van de zeven drinkwaterwinningen is de modelperiode zó gekozen dat deze een zo groot mogelijke verandering van de winningsgrootte omvat en er tevens voldoende geschikte grondwaterstand- en stijghoogtereeksen over die periode beschikbaar zijn.

Voor drie van de drinkwaterwinningen (Goor, Hasselo en Witharen) zijn tijdreeksmodellen op maandbasis ontwikkeld en voor de overige vier (Archemerberg, Herikerberg, Nijverdal en Wierden) zijn deze op jaarbasis ontwikkeld. Bij voorkeur is gemodelleerd op maandbasis, omdat er dan meer meetinformatie wordt benut. Maar voor de vier bovengenoemde winningen is toch de voorkeur gegeven aan modelleren op jaarbasis, aangezien er op maandbasis sprake bleek van een dermate grote verstrengeling tussen het verloop van de winning en het potentieel neerslagcoëfficiënt, dat het niet meer mogelijk is hun relaties met de grondwaterstand onafhankelijk van elkaar te schatten. Voor drie van die vier winningen (Archemerberg, Herikerberg en Nijverdal) speelde bovendien mee dat daar veelal sprake is van een dikke onverzadigde zone en daarmee een zeer lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot, die zich beter laat modelleren op jaarbasis.

Van elke daarvoor geschikt bevonden grondwaterstand- of stijghoogtereeks is een tijdreeksmodel ontwikkeld met als invoer het neerslagoverschot (doorgaans de belangrijkste invloedsfactor van de grondwaterstand), de betreffende drinkwaterwinning en zo nodig ook één of meer andere grondwaterwinningen. Zo kon voor elke gemodelleerde reeks worden vastgesteld wat de statistische relatie is met de grondwaterwinning. Aangezien de modellering tevens het betrouwbaarheidsinterval opleverde van deze geschatte relatie, kon worden vastgesteld of deze schatting al dan niet statistisch significant is. En door een dergelijke modellering afzonderlijk toe te passen op meerdere

grondwaterstandreeksen in de omgeving, ontstond een ruimtelijk beeld van de statistische relatie van de grondwaterstand met de winning.

We ontvingen van de waterschappen informatie over waterhuishoudkundige ingrepen nabij de winningen Nijverdal en Witharen. Voor deze laatste winning gaf dat aanleiding de modelperiode daar op aan te passen. Het bleek niet mogelijk om voor alle zeven winningen een in ruimte en tijd gedetailleerd overzicht samen te stellen van alle toegepaste ingrepen, aangezien dat een zeer grote inspanning zou vereisen, vooral door de benodigde raadpleging van de (veelal papieren) archieven. We hebben daarom geen informatie over waterhuishoudkundige ingrepen betrokken bij het modelleren, anders dan die over de ingrepen bij Witharen.

Het niet-meenemen van een waterhuishoudkundige ingreep kan bij tijdreeksmodellering leiden tot een vertekening van de geschatte relatie tussen drinkwaterwinning en grondwaterstand als die ingreep op één of andere wijze is gecorreleerd aan de winning. Dat is niet bij voorbaat uit te sluiten, zodat we ook zijn nagegaan of de resultaten mogelijke aanwijzingen bevatten voor vertekende relaties. In dat licht is een voorbehoud op zijn plaats bij het gereconstrueerde verlagingsbeeld van de winning Wierden, omdat daar een relatief groot aantal statistisch significante positieve - en daarmee fysisch onlogische - relaties zijn geschat tussen de winning en de grondwaterstand.

Vergelijken resultaten grondwatermodel met empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld

Het vergelijken van een door een grondwatermodel berekend verlagingsbeeld met het empirisch gereconstrueerde verlagingsbeeld is alleen zinvol als beide betrekking hebben op dezelfde omstandigheden. Dit betreft:

1. het winningsbereik (minimale en maximale winning) van de modelperiode;
2. de volgende kenmerkende omstandigheden van de modelperiode:
 - a. de hydrologische, meteorologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
 - b. de ruimtelijke configuratie van pompputten;
 - c. de onttrekkingsregiems van de afzonderlijke pompputten;
 - d. de ruimtelijke en temporele veranderingen van het zwaartepunt van de winning.

Onderstaande tabel vermeldt voor elk van de zeven drinkwaterwinningen de modelperiode waarover het verlagingsbeeld is afgeleid, het minimum, het maximum en het daaruit volgende bereik van de winningsgrootte over de modelperiode, de vergunde hoeveelheid winning en de ratio van dat winningsbereik en de vergunde hoeveelheid.

Winning	Model- periode		Winning modelperiode			Ver- gund	Bereik / Vergund
	Start	Eind	Min	Max	Bereik (miljoen m ³ /j)		
Archemerberg	1978	2012	2,6	3,8	1,2	4,0	30%
Goor	1976	2013	0,8	1,5	0,7	1,5	47%
Hasselo	1980	2012	0,5	0,9	0,4	0,69	58%
Herikerberg	1975	2013	2,7	4,2	1,5	4,0	38%
Nijverdal	1980	2012	4,1	6,1	2,0	6,0	33%
Wierden	1980	2012	5,0	8,5	3,5	8,0	44%
Witharen	1997	2013	1,9	5,0	3,1	5,0	62%

Uit de ratio van het winningsbereik over de modelperiode en de vergunde hoeveelheid blijkt dat voor geen van de beschouwde winningen de verlagingskegel kon worden afgeleid die hoort bij de

vergunde winningsgrootte. Dit komt doordat er geen of onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de tijdreeksmodellering uit te voeren over een periode die ook de start van de winning omvat. Voor vijf van de zeven winningen geldt het gereconstrueerde verlagingsbeeld voor een winningsbereik dat minder dan 50% bedraagt van de vergunde winningsgrootte. Alleen voor de winningen Hasselo en Witharen kon een verlagingsbeeld worden gereconstrueerd dat geldt voor een winningsbereik dat meer dan 50% bedraagt van de vergunde winningsgrootte, namelijk respectievelijk 58% en 62%.

Houd er bij gebruik van een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld als vergelijkingsmateriaal ook rekening mee dat de gereconstrueerde verlagingen geen metingen, maar schattingen zijn, die niet alleen verschillende onzekerheden zullen hebben, maar vermoedelijk ook onderling afhankelijk zullen zijn. Hoofdstuk 11 bevat enkele adviezen daarover.

1 Inleiding

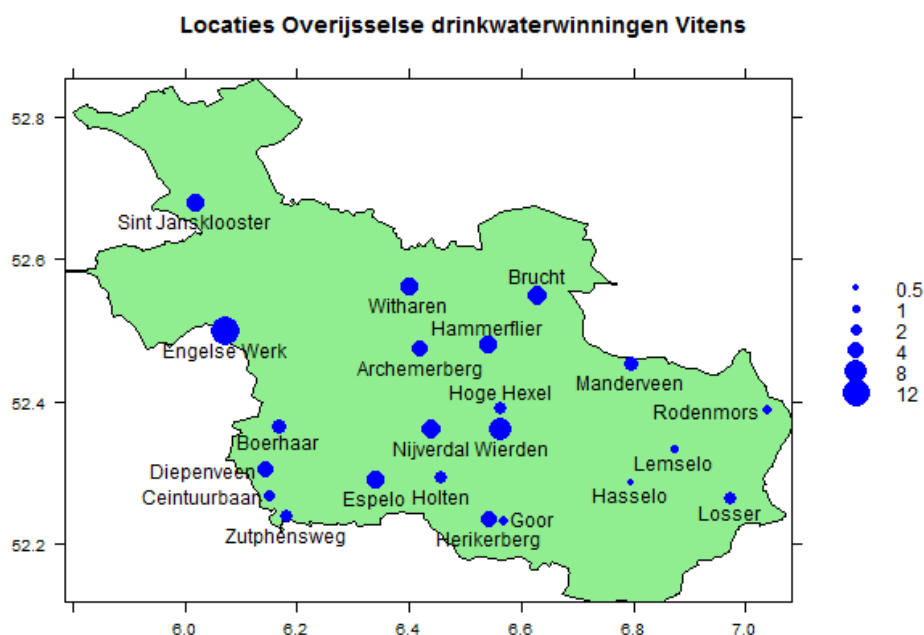
1.1 Achtergronden

Provincie Overijssel en waterbedrijf Vitens ontwikkelen samen grondwatermodellen om te kunnen bepalen welke effecten grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening¹ hebben op de grondwaterstand en stijghoogte² in de omgeving. Om de hiermee berekende verlagingen beeldend objectief op waarde te kunnen beoordelen, bestaat behoefte aan onafhankelijk bepaalde empirische verlagingen. In bepaalde gevallen is het mogelijk om een grootschalig ruimtelijk beeld van de stationaire verlaging door de winning te reconstrueren door tijdreeksmodellering van een groot aantal langjarige grondwaterstandreeksen, die zijn gemeten in peilfilters rond de winning. Dit komt neer op een statistische reconstructie van de invloed van de winning op de grondwaterstand.

Voorafgaande definitiestudie

In het kader van bovenstaande is op verzoek van Provincie Overijssel en Vitens in 2014 een definitiestudie uitgevoerd waarbij voor de drinkwaterwinningen in Overijssel is beoordeeld of de historische situatie en de daarover beschikbare gegevens het mogelijk maken om een betrouwbaar ruimtelijk beeld van de verlaging te reconstrueren met tijdreeksmodellering [Baggelaar et al., 2015].

Figuur 1.1: Locaties van de 21 Overijsselse drinkwaterwinningen (en de inmiddels gestopte winning Brucht). De grootte van een stip is gerelateerd aan de vergunde onttrekkingshoeveelheid (zie ook de legenda rechts, in miljoen m³/jaar).



¹ In dit rapport zullen deze meestal worden aangeduid als 'drinkwaterwinningen'.

² Voor de leesbaarheid zullen zowel 'grondwaterstand' als 'stijghoogte' in dit rapport verder worden aangeduid als 'grondwaterstand', tenzij het onderscheid relevant is.

Van de 21 nog actieve Overijsselse drinkwaterwinningen (zie figuur 1.1) zijn er vijf waarvoor inmiddels al verlagingsbeelden zijn gereconstrueerd met tijdreeksmodellering, namelijk:

1. Boerhaar, gerapporteerd in [Baggelaar, 2002b];
2. Hammerflinter, gerapporteerd in [Baggelaar en Van der Meulen, 2008];
3. Losser, gerapporteerd in [Baggelaar, 2002a], [Baggelaar en Van der Meulen, 2004] en [Baggelaar et al., 2008];
4. Manderveen (met Manderheide), gerapporteerd in [Kiwa, 2004] en [Witteveen+Bos, 2013];
5. Rodenmors, gerapporteerd in [Baggelaar, 2005].

Daarnaast zijn er ook nog met tijdreeksmodellering gereconstrueerde verlagingsbeelden beschikbaar van twee inmiddels gestopte Overijsselse drinkwaterwinningen, namelijk van Brucht (gestopt per 3 januari 2006, verlagingsbeeld gerapporteerd in [Baggelaar en Van der Meulen, 2007]) en van Denekamp (gestopt per 1 juni 2002, verlagingsbeeld gerapporteerd in [Baggelaar, 2003]).³

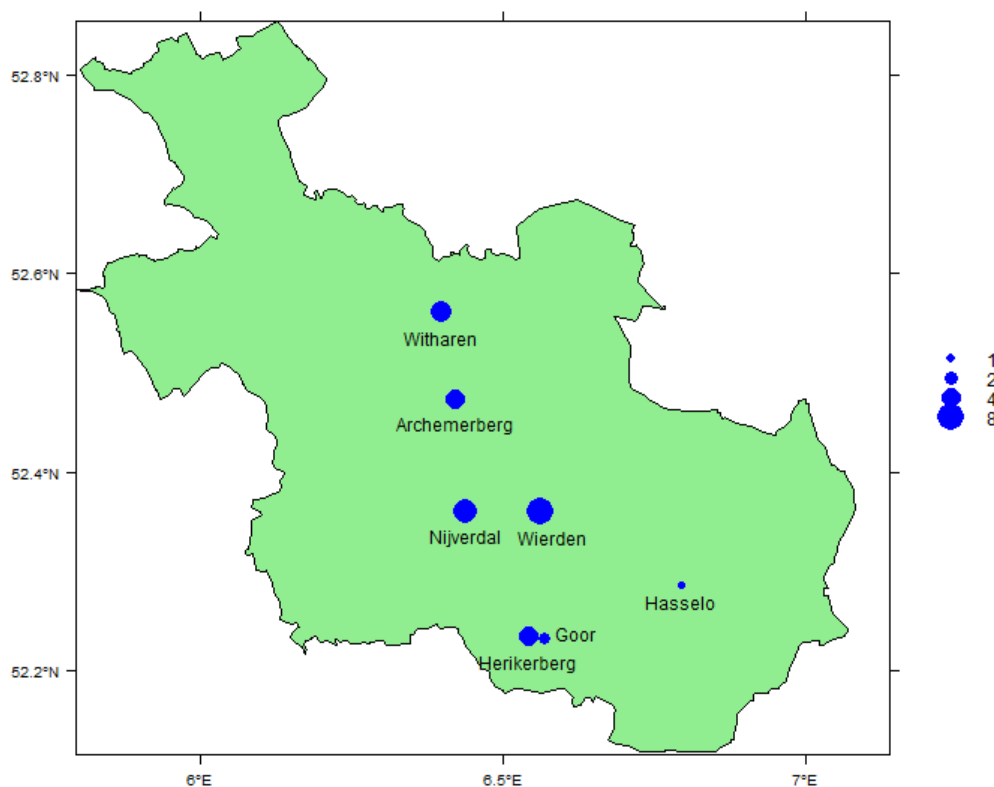
Van de 16 overige Overijsselse drinkwaterwinningen is nog geen met tijdreeksmodellering gereconstrueerd verlagingsbeeld beschikbaar. In de definitiestudie is voor elk van deze op empirische wijze beoordeeld of de historische ontwikkelingen van de grondwaterwinning en de gegevens daarover geschikt zijn om een verlagingsbeeld te reconstrueren. Daartoe is voor elke grondwaterstandreeks die daarvoor voldoende metingen bevat bepaald wat het gemiddelde verschil is tussen twee perioden met duidelijk verschillende onttrekkingsniveaus. Als bleek dat daaruit een ruimtelijk onderscheidbare verlagingskegel resulteerde, is beoordeeld dat voor die winning de haalbaarheid hoog is om met tijdreeksmodellering een stationair verlagingsbeeld te reconstrueren. Dit bleek het geval voor zeven winningen, namelijk Archemerberg, Goor, Hasselo, Herikerberg, Nijverdal, Wierden en Witharen (zie figuur 1.2). Tabel 1.1 vermeldt enkele kenmerken van deze winningen.

Tabel 1.1: Kenmerken van de zeven in deze studie beschouwde drinkwaterwinningen.

Winning	Start	Winlaag	Aantal pomp-putten	Bijzonderheden wvp	Vergund [miljn m ³ /j]
Archemerberg	1960	Wvp 1	17	Gestuwd, freatisch	4,0
Goor	1962	Wvp 1	9	Gedeeltelijk afgesl.	1,5
Hasselo	1934	?	8	Gedeeltelijk afgesl.	0,7
Herikerberg	1959	Wvp 1	19	Gestuwd, freatisch	4,0
Nijverdal	1954	Wvp 1/2	20	Gestuwd, freatisch	6,0
Wierden	1951	Wvp 1b	27 (+12)	Deels gestuwd	8,0
Witharen	1932	Wvp 1b/2a	15	Gedeeltelijk afgesl.	5,0

³ De relevante gegevens van de verlagingsbeelden van Boerhaar, Hammerflinter, Brucht en Rodenmors zijn digitaal beschikbaar gesteld als één van de opbrengsten van de genoemde definitiestudie (in het Excelbestand *Gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx*).

Figuur 1.2: Locaties van de zeven in deze studie beschouwde drinkwaterwinningen. De grootte van een stip is gerelateerd aan de vergunde onttrekkingshoeveelheid (zie ook de legenda rechts, in miljoen m³/jaar).



1.2 Vraagstelling van deze studie

Mede namens Vitens heeft de Provincie Overijssel⁴ ons verzocht om voor elk van de zeven in tabel 1.1 vermelde winningen het stationaire verlagingsbeeld te reconstrueren met tijdreeksmodellering van grondwaterstandreeksen.

1.3 Hoofdpijnen van onze aanpak

We hebben voor elk van de zeven winningen het stationaire verlagingsbeeld in beeld gebracht door voor elke daarvoor geschikte grondwaterstandreeks in de omgeving een tijdreeksmodel te ontwikkelen dat de statistische relaties beschrijft met het neerslagoverschot, de grondwaterwinning en andere mogelijk relevante invloedsfactoren. Zo kon voor elke gemodelleerde reeks worden vastgesteld wat de statistische relatie is met de grondwaterwinning. Aangezien de modellering tevens het betrouwbaarheidsinterval opleverde van deze geschatte relatie, kon worden vastgesteld of deze schatting al dan niet statistisch significant is. En door een dergelijke modellering afzonderlijk toe te passen op meerdere grondwaterstandreeksen in de omgeving, ontstond een ruimtelijk beeld van de statistische relatie van de grondwaterstand met de winning. Dit kwam dus neer op een empirische reconstructie van het verlagingsbeeld aan de hand van een statistische modellering van grondwaterstandreeksen. Een gedetailleerde toelichting op deze aanpak vindt u in hoofdstuk 3.

⁴ Hier vertegenwoordigd door ir. Thomas de Meij, beleidsmedewerker geohydrologie van de Provincie Overijssel. Vitens is vertegenwoordigd door ir. Jan Hoogendoorn, specialist hydrologie.

1.4 Uitgevoerde werkzaamheden

Voor deze studie zijn voor elk van de zeven winningen afzonderlijk de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. Verzamelen, inlezen, plotten en controleren van de meetreeksen van de grondwaterstand en deze vervolgens geschikt maken voor de tijdreeksmodellering. Voor de visuele controle is van elke grondwaterstandreeks een plot gemaakt met daarin ook weergegeven het verloop van relevante metadata, zoals de maaiveldhoogte ter plaatse van de betreffende peilbuis, meetpunthoogte, hoogte bovenkant filter en hoogte onderkant filter.
2. Verzamelen, inlezen, plotten en controleren van de meetreeksen van de grondwateronttrekking per pompput en daaruit reeksen van de totale onttrekking op maandbasis en jaarbasis samenstellen en vervolgens geschikt maken voor de tijdreeksmodellering.
3. Reconstrueren van het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, uit de meetreeks van de grondwateronttrekking per pompput en de coördinaten van de pompputten.
4. Verzamelen, inlezen, plotten en controleren van de meetreeksen van neerslag en verdamping van nabijgelegen neerslag- en meteostations, deze vervolgens omzetten tot reeksen van het potentieel neerslagoverschot en geschikt maken voor de tijdreeksmodellering.
5. Verzamelen, inlezen, plotten en controleren van de meetreeksen van bedrijfsmatige en agrarische grondwateronttrekkingen in de omgeving en deze geschikt maken voor de tijdreeksmodellering.
6. Verzamelen van informatie over waterhuishoudkundige ingrepen in de omgeving over de modelperiode.
7. Vervaardigen overzichtskaart van de ligging van de peilbuizen en van de pompputten van de grondwaterwinning.
8. Verkennen en optimaliseren modelleerstrategie voor het soort grondwaterstandreeksen dat bij de winning voorkomt.
9. Statistisch modelleren van de geselecteerde grondwaterstandreeksen, volgens de Box-Jenkins-methode.
10. Tabelmatig en grafisch (dwarsdoorsneden en overzichtskaarten) presenteren van de geraamde ruimtelijke invloed van de grondwaterwinning op de grondwaterstand.
11. Aanvullen Excelbestand met de bij deze studie afgeleide verlagingsbeelden. Het bestand hernoemen tot *Elf gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx*.

De volgende werkzaamheden zijn voor alle winningen samen:

12. schriftelijk rapporteren van aanpak en bevindingen van deze studie;
13. bespreken concept-rapport met de opdrachtgever;
14. definitief maken rapport.

1.5 Instrumentarium

Wij hebben voor de tijdreeksmodellering van grondwaterstandreeksen gebruik gemaakt van *Tijdreeksanalist*, een softwarepakket voor tijdreeksmodellering dat door ons is ontwikkeld met de wiskundige programmeertaal Matlab [Van der Meulen, 2007]. Het is een toolbox, die in staat stelt om interactief tijdreeksmodellen volgens de Box-Jenkinsmethode te ontwikkelen, zodanig dat de modelresiduen aselechte trekkingen vormen uit dezelfde normale kansverdeling. Als niet wordt voldaan aan die belangrijke vooronderstelling kunnen er namelijk geen onderbouwde uitspraken

worden gedaan over statistische significanties van geschatte relaties met kandidaat-invloedsfactoren.

1.6 Over dit rapport

Na deze inleiding beschrijft hoofdstuk 2 hoe de uitgangsgegevens voor deze studie zijn verzameld, gecontroleerd en voorbereid. Hoofdstuk 3 bevat een toelichting op onze aanpak. In de hoofdstukken 4 t/m 10 zijn voor elk van de zeven drinkwaterwinningen afzonderlijk de details en resultaten beschreven van het reconstrueren van het verlagingsbeeld. Ten slotte geven we in hoofdstuk 11 enkele adviezen over hoe een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld te gebruiken om de door een grondwatermodel berekende effecten van een drinkwaterwinning objectief op waarde te beoordelen. Het hoofddeel van dit rapport sluit af met de alfabetische lijst van de aangehaalde literatuur.

De bijlage geeft een toelichting op de in dit rapport getoonde kaarten met verlagingsbeelden.

De cijfermatige details van de gereconstrueerde verlagingsbeelden zijn vermeld in het bestand *Elf gereconstrueerde verlagingsbeelden Overijssel.xlsx* en beschikbaar gesteld aan de Provincie Overijssel. Dat bestand bevat de details van elf gereconstrueerde verlagingsbeelden, namelijk van de winningen Boerhaar, Brucht, Hammerfliet, Rodenmors en van de zeven in dit rapport beschouwde winningen.

2 Verzamelen en voorbereken basisgegevens

Voor deze studie zijn van elk van de zeven drinkwaterwinningen de volgende gegevens over de omgeving verzameld, over een zo lang mogelijk periode:

1. grondwaterstanden
2. grondwateronttrekking van de winning;
3. industriële en agrarische grondwateronttrekkingen;
4. neerslag en verdamping;
5. andere relevante gegevens.

In dit hoofdstuk lichten wij toe hoe deze gegevens zijn verzameld en voorberekt.

2.1 Grondwaterstanden

Gegevens over de grondwaterstanden nabij de zeven winningen hebben we ontleend aan ons door Vitens en de Provincie Overijssel verstrekte bestanden. Die bestanden bevatten meetreeksen en metadata afkomstig uit de database van Vitens en de database van het Provinciaal Meetnet Grondwaterstanden van Overijssel.

Van Vitens ontvingen we 1 september 2014 de meetreeksen en metadata van hun grondwaterstandmeetnetten in Overijssel, in de vorm van csv-bestanden. Het betrof grondwaterstandgegevens van 3.082 peilfilters.

De dataset van de Provincie Overijssel omvat meetreeksen en metadata van het Primair Meetnet Grondwaterstanden (PMG) en van het Provinciaal Meetnet Verdroging (PMV). Deze zijn door de Provincie opgeslagen in het programma Menyanthes. Wij ontvingen daar een exportbestand van, in csv-formaat (*Olga.csv*). Het bevat een blok metadata en een blok meetwaarden.

Het blok meetwaarden bevat voor elk peilfilter records van datum en meetwaarde (in cm NAP). Het blok met metadata vermeldt per peilfilter X- en Y-coördinaten, maaiveldhoogte, meetpunt-hoogte en onder- en bovenkant peilfilter. Indien de metadata van een peilfilter zijn veranderd, zijn deze gegevens in meerdere records vermeld, met daarbij per record ook de startdatum van de nieuwe situatie. Dit laatste is belangrijk, omdat daarmee kan worden nagegaan of delen van de reeks wellicht betrekking hebben op een andere ruimtelijke positie in het systeem, waardoor er sprake is van een inconsistente reeks.

Het blok metadata bevat gegevens van 532 peilbuizen, die gezamenlijk 813 peilfilters hebben. De peilfilters van een peilbuis zijn van boven naar beneden gaande genummerd van 1 t/m maximaal 8. Van de 532 peilbuizen worden er 391 beheerd door de Provincie en 106 door Vitens. Van de overige 35 peilbuizen is de beheerder niet vermeld in het metabestand.

Van de 813 peilfilters worden er 295 beheerd door Vitens. Om dubbeling te voorkomen hebben we de Vitens-data verwijderd uit de dataset van de Provincie, die daarna nog gegevens bevatte van 518 peilfilters.

Totaal zijn er 3.600 unieke grondwaterstandreeksen aangeleverd door Vitens en de Provincie.

Voorbewerking meetreeksen grondwaterstand

We richten ons in deze studie voor elk van de zeven drinkwaterwinningen op de grondwaterstandreeksen die zijn gemeten in peilbuizen in de omgeving. Afhankelijk van de winning zijn er 62 tot 213 grondwaterstandreeksen beschikbaar binnen een straal van vijf kilometer van het zwaartepunt van de winning en 149 tot 321 binnen een straal van acht kilometer van het zwaartepunt van de winning (zie tabel 2.1).

Tabel 2.1: Aantal beschikbare grondwaterstandreeksen binnen stralen van 8 en 5 kilometer van het zwaartepunt van de winning, voor elk van de zeven hier beschouwde drinkwaterwinningen. Aangezien een aantal zoekcirkels overlap vertonen – zoals die voor Goor en Herikerberg – omvat het vermelde totaal ook dubbelingen.

Winning	Aantal grondwaterstandreeksen	
	Binnen 8 km	Binnen 5 km
Archemerberg	264	160
Goor	149	127
Hasselo	240	62
Herikerberg	169	125
Nijverdal	277	105
Wierden	321	213
Witharen	197	151
Totaal	1.617	943

De meeste peilfilters zijn tot 2004 halfmaandelijks bemeten en daarna hoogfrequent, op dag- en/of uurbasis (met behulp van automatische drukopnemers). Doorgaans is van de hoogfrequente metingen één meetwaarde per dag vermeld, maar een aantal reeksen bevatten voor de laatste jaren alle meetwaarden (24 per dag).

Voor onze tijdreeksmodellering is het van belang de meetgegevens te aggregeren tot maandgemiddelden, waaruit voor sommige winningen vervolgens ook jaargemiddelden worden samengesteld. Maar halfmaandelijkse, dagelijkse en uurlijkse meetgegevens kunnen niet op dezelfde wijze worden geaggregeerd, aangezien de precisies van periodegemiddelden dan ongelijk worden, wat indruist tegen een belangrijke vooronderstelling bij tijdreeksmodellering. Daarom hebben wij op de volgende wijze maandgemiddelden berekend:

1. Voor een deelreeks met (min of meer) halfmaandelijkse en/of dagelijkse meetwaarden zijn per maand eerst twee meetwaarden geselecteerd, namelijk degene die het dichtst bij de 14^e dag van die maand is genomen en degene die het dichtst bij de 28^e dag van die maand is genomen, in beide gevallen echter niet buiten het tijdsvenster dat zich vijf dagen aan weerskanten van dat tijdstip uitstrekt. Als dit twee meetwaarden over die maand oplevert zijn ze gemiddeld, anders wordt het maandgemiddelde gelijk gesteld aan de ene meetwaarde, of op een ontbrekende waarde gezet (als het geen meetwaarde oplevert).
2. En voor een deelreeks met meetwaarden op uurbasis zijn twee stappen uitgevoerd:
 - a. eerst is voor elke dag de meetwaarde genomen van het zelfde uur waarop de laatste meetwaarde op dagbasis is genomen. Als er geen voorafgaande deelreeks op dagbasis is, dan is de meetwaarde genomen van het tijdstip dat het dichtst bij 8:00 uur ligt;
 - b. vervolgens zijn per maand twee meetwaarden geselecteerd, namelijk degene die het dichtst bij 12:00 uur van de 14^e dag van die maand is genomen en degene die het dichtst bij 12:00 uur van de 28^e dag van die maand is genomen, echter niet buiten het tijdsvenster dat zich

vijf dagen aan weerskanten van dat tijdstip uitstrekt. Als dit twee meetwaarden over die maand oplevert zijn ze gemiddeld, anders wordt het maandgemiddelde gelijk gesteld aan de ene meetwaarde, of op een ontbrekende waarde gezet (als het geen meetwaarde oplevert).

Het verlies aan informatie over het verloop van de grondwaterstand door het middelen naar maandwaarden zal beperkt zijn, gezien de grote autocorrelatie (op te vatten als een maat voor de overlap in informatie) van halfmaandelijkse meetwaarden van de grondwaterstand en de zeer grote autocorrelatie van dagelijkse en uurlijkse meetwaarden van de grondwaterstand.

Elk jaargemiddelde is bepaald als het gemiddelde van vier kwartaalgemiddelden, mits er voor elk kwartaal minstens één meetwaarde is, anders is het jaargemiddelde op een ontbrekende waarde gezet. Elk kwartaalgemiddelde is daarbij bepaald als het gemiddelde van de maandgemiddelden, mits er voor minstens één van de maanden een meetwaarde beschikbaar is, anders is het kwartaalgemiddelde op een ontbrekende waarde gezet.

Voor elk van de zeven winningen is een Excelbestand gemaakt met kengetallen en metadata van de meetreeksen en tevens met links naar tijdreeksplots. Deze bestanden bevatten voldoende informatie om passende selecties te kunnen maken voor de tijdreeksmodelleringen.

Elk geselecteerd peilfilter 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 2.2).

Tabel 2.2: Voor elk van de zeven drinkwaterwinningen de diepte van de onderkant van elk van de daar onderscheiden watervoerende pakketten, zoals afgeleid uit het geohydrologisch schema dat is weergegeven in het Vitens-factsheet. Tevens is weergegeven in welk watervoerend pakket de pompfilters zich bevinden (winpakket).

Winning	Onderkant watervoerend pakket [m NAP]							Winpakket
	Wvp1	Wvp1a	Wvp1b	Wvp1c	Wvp2	Wvp2a	Wvp2b	
Archemerberg	-40				-130			Wvp1
Goor		0	-25					Wvp1
Hasselo								?
Herikerberg	-35							Wvp1
Nijverdal	-30				-125			Wvp1/Wvp2
Wierden		0	-43	-70				Wvp1b
Witharen		-10	-50			-90	-170	Wvp1b/Wvp2a

2.2 Verloop hoeveelheid drinkwaterwinning

We ontvingen van Vitens gegevens over het historische verloop van de grondwateronttrekking voor elk van de zeven winningen, ook uitgesplitst naar de verschillende pompputten. Deze gegevens zijn door Vitens voorbereikt⁵ en vervolgens door ons verder bewerkt. Ze omvatten de periode vanaf 1974.

2.2.1 Voorbewerkingen door Vitens

De voorbereidingen door Vitens waren nodig omdat per pompput slechts de draaiuren zijn bijgehouden (doorgaans per week), zodat de hoeveelheid onttrekking per pompput moest worden afgeleid uit het aantal draaiuren en de pompcapaciteit [m^3/uur].

De toegepaste verwerkingsmethoden zijn beschreven in [Vitens, 2002a en 2002b] en hebben als kern dat er per week een correctie wordt toegepast, als blijkt dat het totaal van de over die week afgeleide pompputonttrekkingen niet overeenstemt met het totaal van de over die week geregistreerde hoeveelheid reinwater, spoelwater en waterverlies (zoals door lozen op de sloot bij het inwerken van een pompput). Beide totalen zijn namelijk op te vatten als ramingen van de totale weekproductie. Daartoe wordt eerst voor elke week de correctiefactor bepaald uit de ratio van deze twee ramingen, volgens:

$$f_w = \frac{r_w + s_w + v_w}{\sum_{i=1}^n (d_{iw} \cdot c_{iw})}$$

waarin f de correctiefactor, w de weekindex, r de hoeveelheid reinwater [m^3/week], s de hoeveelheid spoelwater [m^3/week], v de hoeveelheid waterverlies [m^3/week], i de pompputindex, n het aantal pompputten, d het aantal draaiuren van de pompput [-] en c de capaciteit van de pompput [m^3/uur]. Er van uitgaande dat de som van reinwater, spoelwater en waterverlies een betrouwbaardere schatting geeft van de weekproductie, wordt de weekproductie per pompput vervolgens als volgt gecorrigeerd:

$$Q_{iw} = f_w \cdot d_{iw} \cdot c_{iw}$$

waarin Q_{iw} de productie van pompput i in week w .

Draaiuren

Tot circa 1998 werden de draaiuren per pompput geregistreerd in handgeschreven weekrapporten en daarna in digitale weekrapporten. In bepaalde gevallen bleken deze gegevens echter niet beschikbaar (bijvoorbeeld door vakantie, of het installeren van een nieuwe meter), of evident fout (door fouten bij het aflezen of bij de transcriptie). In dergelijke gevallen is het aantal draaiuren geschat uit het gemiddelde van voorgaande weken. Als draaiuren over een langere periode ontbraken is voor de draaiuurverhouding tussen de pompputten uitgegaan van die van een representatieve periode, voorafgaand of na afloop van de betreffende periode zonder draaiuren.

Pompcapaciteiten

Indien mogelijk is de capaciteit van een pompput afgeleid uit metingen van afpompings- en het specifieke debiet. Als die gegevens niet bekend zijn is de opbrengst per onderwaterpomp gehan-

⁵ We ontvingen de onttrekkingsgegevens van Jan Jaap Buyse (Specialist Hydrologie) en Wim Boeve (Technisch Medewerker), die speciaal voor onze studie de data van de zeven te beschouwen winningen hebben geactualiseerd en voorbereikt.

teerd, zoals beschreven in het processchema van de betreffende winning. Van een aantal pompputten bleken echter ook die gegevens niet beschikbaar en is de pompcapaciteit geschat op basis van de capaciteiten van de andere pompputten van het betreffende pompstation.

Toerengeregelde pompen zijn bij de berekeningen als sluitpost gehanteerd, gezien de grote onzekerheden over hun onttrekkingen. Bij de aanwezigheid van toerengeregelde pompen zijn de berekende (ongecorrigeerde) onttrekkingen van de niet-toerengeregelde pompen dus niet gecorrigeerd. In een enkel geval levert dit de vreemde situaties op omdat de som van de ongecorrigeerde putonttrekkingen groter is dan de som van reinwater+ spoelwater. De toerengeregelde putten zouden in dat geval een negatieve onttrekking toegekend krijgen (= sluitpost). In dat geval (zoals bijvoorbeeld bij Goor) is de pompcapaciteit van de niet-toerengeregelde pompen structureel gecorrigeerd met het gemiddelde afwijkingspercentage van de periode voordat de toerengeregelde pompen waren geïnstalleerd.

Reinwater

Voor de hoeveelheid reinwater zijn de gegevens uit de weekrapporten gebruikt. Bij ontbreken van gegevens of evidente fouten is de hoeveelheid geschat uit het gemiddelde van voorgaande weken. Als de weekrapporten geen of onvoldoende gegevens bevatten is gebruik gemaakt van reinwatergegevens op dag- of maandbasis.

2.2.2 Onze voorbewerkingen

We hebben de door Vitens geleverde onttrekkingsgegevens verder voorbewerkt om voor elk van de zeven winningen:

1. het verloop van de totale onttrekking op maandbasis en op jaarbasis te kunnen afleiden, zodat deze onttrekkingsreeks als invoer kan dienen bij de tijdreeksmodellering en
2. het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning in beeld te kunnen brengen, zodat kan worden beoordeeld of de modelresultaten van nabij het zwaartepunt gelegen peilbuizen daardoor vertekend kunnen zijn. Want als bijvoorbeeld een afgeleid verlagingsbeeld wordt gebruikt om de bodemparameters van het betreffende geohydrologische systeem te schatten, dan blijken die schattingen meestal zeer gevoelig voor de verlagingen vlak bij de winning. Maar als het aannemelijk is dat de geschatte verlagingen vlak bij de winning vertekend zijn door verplaatsingen van het zwaartepunt van de winning, dan kan dit worden verdisconteerd door ze minder gewicht toe te kennen bij het schatten van de parameters (zie ook hoofdstuk 11).

ad 1. Afleiden totale onttrekking op maand- en jaarbasis

De door Vitens verstrekte onttrekkingsgegevens hebben betrekking op de afzonderlijke pompputten van de winning en zijn – afhankelijk van de winning - van 1974 tot ergens tussen 1996 en 2005 geregistreerd op weekbasis (of daaromtrent) en daarna op dagbasis. Om daaruit de totale onttrekking op maand- en jaarbasis te kunnen afleiden, hebben we eerst alle onttrekkingsgegevens omgezet naar dagbasis. Daartoe is elk onttrekkingscijfer dat betrekking had op een periode van meer dan één dag gelijkmatig verdeeld over de dagen van die periode. Daarna is voor elke maand en voor elk jaar de totale onttrekking bepaald door sommering van de dagtotalen, zowel per pompput als voor de gehele winning.

Voor wat betreft de onttrekking op jaarbasis zijn er voor elke winning ook nog reeksen van twee andere bronnen beschikbaar, namelijk:

- de jaarlijkse grondwateronttrekking zoals vermeld in de door de Provincie Overijssel beheerde database van vergunde en geregistreerde onttrekkingen in Overijssel. Dit zijn de cijfers zoals jaarlijks verstrekt door Vitens aan de Provincie, in het kader van de onttrekkingsvergunning. Wij ontvingen gegevens van de Provincie die doorlopen t/m het jaar 2013, waarbij de oudste reeksen starten in 1969 (zie ook § 2.3). De onttrekkingsreeksen van de drinkwaterwinningen starten echter pas in 1976 of 1977;
- de jaarlijkse reinwaterafgifte t/m het jaar 2013. Deze reeksen zijn ons geleverd door Vitens. De reinwaterafgifte is weliswaar meestal enigszins lager dan de grondwateronttrekking, maar het grote voordeel van deze reeksen is dat ze voor de oudere winningen vaak veel verder terug gaan in de tijd, zoals tot 1960 of daaromtrent.

Om tot zo volledig mogelijke jaarreeksen te kunnen komen, hebben we de gegevens van deze drie bronnen samengevoegd, waarbij voor elk jaar één waarde is genomen, volgens de volgende prioritering:

1. waarde afgeleid uit de Vitensdata per pompput;
2. waarde volgens de door de Provincie Overijssel beheerde database van onttrekkingen;
3. waarde van de reinwaterafgifte.

Het samenvoegen van cijfers over de grondwateronttrekking en de reinwaterafgifte in één reeks kan uiteraard tot artificiële variatie leiden, maar wij vinden het voor onze toepassing vooral belangrijk om over zo lang mogelijke winningsreeksen te beschikken. Verder zijn we in eerste instantie geïnteresseerd in de grote winningsvariaties en die zullen niet relevant worden vertoebeld door de artificiële variatie.

ad 2. Vaststellen ruimtelijke verloop zwaartepunt winning

We hebben voor elk van de zeven winningen ook het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt in beeld gebracht, uitgaande van het verloop van de onttrekking op maandbasis per pompput (afgeleid zoals hierboven beschreven) en de XY-coördinaten van de pompputten. Daartoe is het volgende algoritme gehanteerd (als voorbeeld hier alleen uitgeschreven voor de X-coördinaat):

$$x_{z,i} = \frac{\sum_{p=1}^n (x_p \cdot Q_{p,i})}{\sum_{p=1}^n Q_{p,i}}$$

waarin $x_{z,i}$ de X-coördinaat van het zwaartepunt in maand i , x_p de X-coördinaat van pompput p , n het aantal pompputten en $Q_{p,i}$ de onttrekking van pompput p in maand i (m^3/maand).

Voor elk van de winningen hebben we vervolgens het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt in beeld gebracht met:

1. een schematische kaart waarin de ligging van het zwaartepunt per maand is geplot en
2. een tijdreeksplot op maandbasis waarin het verloop van zowel de X-coördinaat als de Y-coördinaat van het zwaartepunt is weergegeven versus de tijd (zie de hoofdstukken 4 t/m 10).

Met deze instrumenten kan ondermeer worden beoordeeld in hoeverre modelresultaten van nabij het zwaartepunt gelegen peilbuizen vertekend kunnen zijn door een verplaatsing van het zwaartepunt.

Ook hebben wij de ruimtelijke spreiding van de pompputten in beeld gebracht, zowel in de onder punt 1 genoemde schematische kaart, als in een topografische kaart die de resultaten van de tijdreeksmodelleringen ruimtelijk weergeeft. Zo kan tevens worden beoordeeld in welke mate wordt afgeweken van een puntonttrekking en welke peilbuizen sterk beïnvloed kunnen zijn door een naburige pompput. Deze informatie is van groot belang om de juiste keuzen te kunnen maken als een afgeleid verlagingsbeeld wordt gebruikt om de bodemparameters van het betreffende geohydrologische systeem te schatten.

2.3 Verloop bedrijfsmatige en agrarische grondwateronttrekkingen

Gegevens over bedrijfsmatige en agrarische grondwateronttrekkingen in de omgeving hebben we ontleend aan de door de Provincie Overijssel beheerde database van vergunde en geregistreerde onttrekkingen in Overijssel, die deel uitmaakt van het Landelijk Grondwater Register (LGR). Door diverse softwareproblemen kon de Provincie daaruit echter niet alle benodigde gegevens beschikbaar krijgen. We hebben daarom gebruik moeten maken van eerder door de Provincie Overijssel verstrekte uitvoer van deze database, voor onze voorgaande definitiestudie [Baggelaar, et al., 2015]. Dat betreft een XML-bestand, met gegevens die doorlopen t/m het jaar 2013, waarbij de oudste reeksen starten in 1969. Het bestand bevat 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.

Van de gehele provincie Overijssel zijn in dat bestand 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. In § 3.1.1 zijn de criteria toegelicht waarmee is bepaald of een onttrekking wordt meegenomen voor de tijdreeksmodellering van een grondwaterstandreeks.

2.4 Verloop neerslag en verdamping

De belangrijkste invloedsfactor van de grondwaterstand is meestal de grondwateraanvulling, maar daar zijn helaas geen meetgegevens over beschikbaar. Als theoretische benadering van deze factor kan echter het potentieel neerslagoverschot dienen. Dat wordt bijvoorbeeld op dagbasis berekend uit de neerslag en de referentiegewasverdamping, volgens:

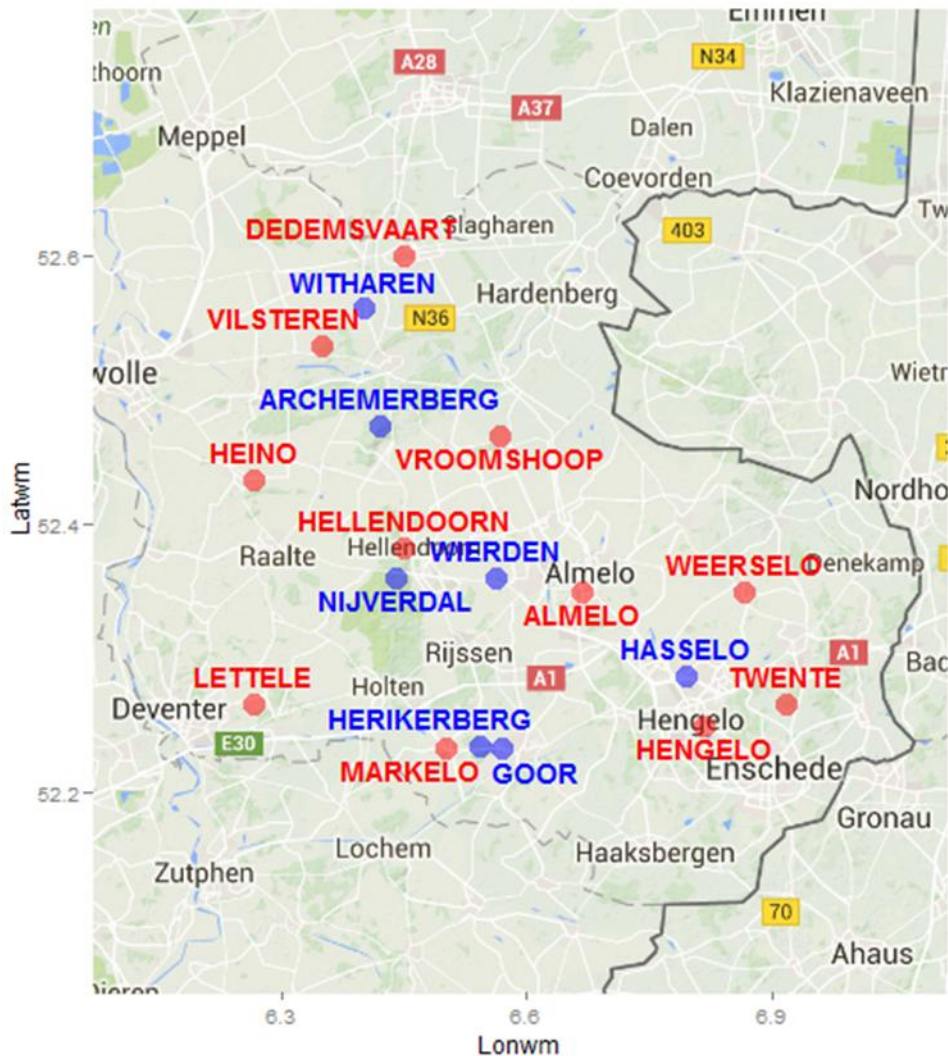
$$PNO_t = N_t - E_{refgewas,t}$$

waarin PNO_t het potentieel neerslagoverschot, N_t de neerslag en $E_{refgewas,t}$ de referentiegewasverdamping, alle op dag t (mm/d). De referentiegewasverdamping wordt ook wel aangeduid als de Makkink-verdamping.

Figuur 2.1 geeft aan welke meteostations en neerslagstations zich bevinden nabij de zeven winningen. Op de meteostations Heino en Vliegbasis Twente worden behalve neerslag nog diverse

andere meteorologische variabelen gemeten, zoals temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid en verdamping. Op de neerslagstations wordt echter alleen de neerslag gemeten.

Figuur 2.1: Locaties van de zeven in deze studie beschouwde drinkwaterwinningen (in blauw) en in rood zowel de nabij gelegen meteostations (Heino en Vliegbasis Twente) als de neerslagstations.



De afstanden tussen de de neerslag-/meteostations en de zeven in deze studie beschouwde winningen zijn vermeld in de matrix van tabel 2.3. Tevens is in deze tabel weergegeven welke neerslag-/meteostations zijn gekoppeld aan welke winningen.

Tabel 2.3: Afstanden (in km) tussen de neerslag-/meteostations in de regio (in de kolommen) en de zeven in deze studie beschouwde winningen (in de rijen). Een groen gekleurde cel geeft aan van welk neerslag-/meteostation de neerslagdata worden gebruikt voor de tijdreeksmodellering van de grondwaterstand in de omgeving van een bepaalde winning. Voor alle winningen worden de verdampingscijfers van meteostation De Bilt gebruikt.

	Almelo	Dedemsvaart	Heino	Hellendoorn	Hengelo (Ov)	Lettele	Markelo	Twente	Vilsteren	Vroomshoop	Weerselo	De Bilt	Twente (VB)
Archemerberg	22	14	11	10	37	25	27	41	8	10	33	94	40
Goor	15	42	30	19	17	21	5	24	37	26	24	96	23
Hasselo	11	42	39	26	4	36	21	9	41	25	9	112	8
Herikerberg	15	41	29	18	19	19	3	26	36	26	25	94	25
Nijverdal	15	27	14	3	28	16	15	34	20	15	29	90	33
Wierden	7	28	22	8	21	23	15	26	24	12	21	98	25
Witharen	30	5	17	20	45	34	37	48	5	15	39	97	47

De gegevens over neerslag en verdamping van de van toepassing zijnde neerslag-/meteostations hebben we betrokken bij het KNMI.

Aangezien voor elk van de neerslagstations de neerslaggegevens zijn geregistreerd als 24-uursom van de neerslag van 08:00 voorafgaande dag tot 08:00 huidige dag, hebben we deze als volgt omgerekend naar de etmaalsom van de huidige dag: $8/24$ van registratie huidige dag + $16/24$ van registratie volgende dag. Deze omrekening was niet nodig voor de gegevens van de meteostations, aangezien die al zijn geregistreerd als etmaalsom (van 24 uur voorgaande dag tot 24 uur huidige dag).

De dichtstbijzijnde meteostations waar de referentiegewasverdamping wordt gemeten zijn Heino en Vliegbasis Twente. De verdampingsreeksen van deze stations starten voor onze toepassing echter te laat, namelijk 16 juli 1993 voor Heino en 16 april 1987 voor Vliegbasis Twente. Dit maakt ze ongeschikt voor historische reconstructies die ver teruggaan in de tijd, zoals beoogd in deze studie. We zullen daarom uitgaan van de verdampingsgegevens zoals verzameld op het meteostation De Bilt, die al 1 juli 1957 starten. Dit station ligt weliswaar op 90 tot 110 kilometer van de zeven te beschouwen winningen (zie tabel 2.3), maar de verdamping vertoont doorgaans een zeer grote ruimtelijke correlatie. Dit geldt des te meer naarmate er over een grotere tijdseenheid wordt gemiddeld, zoals in deze studie, waar wordt gemiddeld over de maand of het jaar (zie § 3.1.2). Zo is de correlatiecoëfficiënt van de maandelijkse verdamping van het meteostation De Bilt en die van Vliegbasis Twente over de periode april 1987 t/m september 2015 zeer groot, namelijk 0,997.

2.5 Andere relevante gegevens

Voor elk van de zeven drinkwaterwinningen is een factsheet beschikbaar gesteld door Vitens, met ondermeer informatie over de geohydrologische situatie, waaronder een weergave van een dwarsdoorsnede van de geohydrologische opbouw van de ondergrond. Voor de winning Hasselo bevat het factsheet echter geen informatie over de geohydrologische situatie.

We hebben de betreffende waterschappen benaderd voor informatie over eventuele waterhuishoudkundige ingrepen in de omgeving over de beoogde modelperioden. We ontvingen daarop informatie over ingrepen nabij de winningen Nijverdal en Witharen. Voor wat betreft deze laatste winning gaf de informatie aanleiding de modelperiode daar op aan te passen (zie ook § 10.3).

De waterschappen gaven aan dat ze niet in staat waren om voor elk van de zeven winningen een in ruimte en tijd gedetailleerd overzicht samen te stellen van de toegepaste ingrepen, aangezien dat een zeer grote inspanning zou vereisen, vooral door de benodigde raadpleging van de (veelal papieren) archieven. Maar zelfs dan zal het vaak niet meer zijn mogelijk daar een voldoende gedetailleerd beeld uit te halen. Dit is al eerder vastgesteld door [Rolf, 1989] en inmiddels hebben wij deze ervaring ook al meermalen opgedaan bij studies waarbij tijdreeksmodellering van de grondwaterstand is toegepast. Alles in overweging nemende hebben we daarom moeten besluiten dat het voor deze studie te ver zou voeren om die overzichten in ruimte en tijd zelf samen te stellen.

Het niet-meenemen van een waterhuishoudkundige ingreep kan bij tijdreeksmodellering overigens alleen leiden tot een vertekening van de geschatte relatie tussen drinkwaterwinning en grondwaterstand als die ingreep op één of andere wijze is gecorreleerd aan de winning. Dat is niet bij voorbaat uit te sluiten, zodat we ook zullen nagaan of de resultaten mogelijke aanwijzingen bevatten voor vertekende relaties.

3 Details studieaanpak

Voor elk van de zeven winningen is het stationaire verlagingsbeeld in beeld gebracht aan de hand van statistische modellering van grondwaterstandreeksen. Daarbij is voor elke grondwaterstandreeks een tijdreeksmodel ontwikkeld dat de statistische relaties beschrijft met het neerslagoverschot, de grondwaterwinning en andere mogelijk relevante invloedsfactoren. In dit hoofdstuk geven we een gedetailleerde toelichting op deze aanpak.

3.1 Hoofdkeuzen voor de modelontwikkeling

Voor de ontwikkeling van een tijdreeksmodel van een grondwaterstandreeks biedt de door Box en Jenkins aanbevolen iteratieve aanpak een geschikt kader [Box and Jenkins, 1976], zodat wij die hebben toegepast. Deze aanpak omvat de volgende onderdelen: (1) identificatie van het model, (2) schatting modelparameters en (3) verificatie van het model. Maar zelfs binnen deze gestructureerde aanpak zijn er nog belangrijke keuzen nodig. Zo moet worden besloten welke mogelijke invloedsfactoren bij de modellering te betrekken als invoerreeksen. En ook moet worden besloten wat de meest geschikte tijdsbasis en modelperiode zijn voor het modelleren. Onze keuzen worden hieronder toegelicht.

3.1.1 Keuze invoerreeksen

Om met tijdreeksmodellering van grondwaterstanden een bruikbaar beeld te kunnen schetsen van de invloed van een grondwaterwinning op de grondwaterstand in de omgeving, is het van belang dat alle relevante invloedsfactoren van de grondwaterstand in de modelperiode als invoerreeks worden meegenomen bij het modelleren. Alle grondwaterstandreeksen zijn daarom gemodelleerd met als invoerreeksen in ieder geval:

- het potentieel neerslagoverschot (doorgaans is het neerslagoverschot de belangrijkste invloedsfactor van de grondwaterstand) en
- de betreffende drinkwaterwinning.

En als zich in de omgeving van de betreffende peilbuis een andere grondwateronttrekking bevindt die over de modelperiode relevant is veranderd, dan is deze eveneens meegenomen als invoerreeks. De relevantie van een onttrekking bij het modelleren van een bepaalde grondwaterstandreeks zal afhangen van de afstand van de onttrekking tot de peilbuis en de grootte van de verandering van de onttrekking over de modelperiode. Om te kunnen bepalen of een grondwateronttrekking in aanmerking komt als aanvullende invoerreeks bij de tijdreeksmodellering van een grondwaterstandreeks, zijn we uitgegaan van de in tabel 3.1 vermelde relatie tussen de onttrekkingsgrootteklasse en de straal waarbinnen een voor de tijdreeksmodellering relevante invloed van die onttrekking op de grondwaterstand mogelijk kan worden geacht. Deze tabel is heuristisch van aard, gebaseerd op modelleerervaring.

Tabel 3.1: Veronderstelde straal van relevante invloed van een grondwateronttrekking, als functie van de klasse van verandering van de onttrekking over de modelperiode. Deze tabel is gebruikt om te bepalen of een grondwateronttrekking in aanmerking komt als aanvullende invoerreeks bij de tijdreeksmodellering van een grondwaterstandreeks.

Klasse van verandering		Straal van relevante invloed (m)
ondergrens (m ³ /j)	bovengrens (m ³ /j)	
10.000	50.000	200
50.000	250.000	500
250.000	500.000	1.000
500.000	1.000.000	2.000
1.000.000	2.000.000	3.000
2.000.000	4.000.000	4.000
4.000.000	6.000.000	5.000

3.1.2 Keuze tijdsbasis

Bij deze studie zijn voor drie drinkwaterwinningen (Goor, Hasselo en Witharen) tijdreeksmodellen op maandbasis ontwikkeld en voor de overige vier drinkwaterwinningen (Archemerberg, Herikerberg, Nijverdal en Wierden) zijn deze op jaarbasis ontwikkeld. Er zijn geen modellen ontwikkeld op kleinere tijdsbasis (zoals de week of de dag), niet alleen omdat de grondwaterstand daarvoor onvoldoende frequent is bemeten, maar ook omdat het dan lastiger kan worden om sterk uitgesmeerde relaties met kandidaat-invloedsfactoren afdoende te beschrijven. Zo kan bijvoorbeeld de responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot enkele maanden tot zelfs enkele jaren bedragen, ondermeer afhankelijk van de dikte van de onverzadigde zone.

Bij voorkeur is gemodelleerd op maandbasis, omdat er dan meer meetinformatie kan worden benut. Maar voor de vier bovengenoemde winningen is toch de voorkeur gegeven aan modelleren op jaarbasis, aangezien er op maandbasis sprake bleek van een dermate grote verstrengeling tussen het verloop van de winning en het potentieel neerslagcoëfficiënt (absolute waarde correlatiecoëfficiënt groter dan 0,3)⁶, dat het niet meer mogelijk is hun relaties met de grondwaterstand onafhankelijk van elkaar te schatten. Voor drie van die vier winningen (Archemerberg, Herikerberg en Nijverdal) speelde bovendien mee dat daar veelal sprake is van een dikke onverzadigde zone en daarmee een zeer lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot, die zich beter laat modelleren op jaarbasis.

Omzetten in- en uitvoerreeksen naar maandbasis en jaarbasis

In § 2.1 is toegelicht hoe de grondwaterstandreeksen zijn omgezet naar reeksen op maandbasis. Voor de vier drinkwaterwinningen waarvan de tijdreeksmodellering op jaarbasis wordt uitgevoerd zijn de reeksen op maandbasis door middeling omgezet naar reeksen op jaarbasis (zie eveneens § 2.1 voor de details).

De invoerreeksen die beschikbaar zijn als reeksen van maandsommen (potentieel neerslagoverschot en grondwateronttrekking), hebben we omgezet tot reeksen van maandgemiddelden door elke maandsom te delen door het aantal dagen in die maand. Zonder die omzetting zouden deze

⁶ Uit ervaring is ons gebleken dat als bij tijdreeksmodellering twee invoerreeksen een absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt hebben die groter is dan 0,3, het dan lastig kan worden hun relaties met de uitvoerreeks voldoende onafhankelijk van elkaar te schatten.

invoerreeksen artificiële variaties vertonen, doordat niet alle maanden even lang zijn. Voor de vier drinkwaterwinningen waarvan de tijdreeksmodellering op jaarbasis wordt uitgevoerd is voor elk jaar uitgegaan van de jaarsom van de onttrekking (in miljoen m³/j) en het jaargemiddelde van het potentieel neerslagoverschot (in mm/d).

3.1.3 *Keuze modelperiode*

Om met tijdreeksmodellering van grondwaterstanden een bruikbaar beeld te kunnen schetsen van de invloed van een grondwaterwinning op de grondwaterstand in de omgeving, is het van cruciaal belang dat de winning over de modelperiode een grote variatie heeft vertoond. Anders zal er onvoldoende onderscheidend vermogen zijn om een statistische relatie tussen grondwaterstand en winning te kunnen detecteren. Een eventuele relatie kan immers pas worden gedetecteerd als deze zich voldoende onderscheidt van de modelruis. Voor elk van de zeven drinkwaterwinningen hebben wij daarom een modelperiodevenster afgeleid, zodanig dat:

1. die periode een zo groot mogelijke verandering van de drinkwaterwinning omvat en
2. er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar zijn.

Van elke gemodelleerde grondwaterstandreeks omvat de modelperiode minimaal het modelperiodevenster en als de reeks langer is, dan is ook een dienovereenkomstig langere modelperiode gebruikt, zodat er zoveel mogelijk meetinformatie kon worden benut.

Voor de winning Witharen is bij het bepalen van de modelperioden tevens rekening gehouden met het feit dat van 1993 tot 1996 de totstandkoming van een wateraanvoerplan is gerealiseerd, waarbij in de zomerperiode water wordt aangevoerd en in de winterperiode water wordt afgevoerd. Aangezien het modelmatig verdisconteren van een dergelijke ingreep zeer lastig is, starten alle modelperioden ná 1996.

3.1.4 *Keuze formulering transfermodellen*

Om per drinkwaterwinning tot een geschikte formulering van de dynamische relatie tussen een invoerreeks en de grondwaterstandreeks te kunnen komen (neergelegd in het betreffende transfermodel), is gebruik gemaakt van de volgende informatie-elementen:

1. steekproeven van het gewitte kruiscorrelogram van de grondwaterstand en de betreffende invoerreeks. Een dergelijk kruiscorrelogram zal namelijk min of meer de vorm hebben van de impuls-respons-functie en daarmee een indruk geven van de wijze waarop de grondwaterstand samenhangt met die factor;
2. kennis van het geohydrologische systeem ter plaatse, gecombineerd met ervaringskennis van tijdreeksmodellering van grondwaterstandreeksen van dergelijke systemen.

3.2 *Iteratieve modelformulering, -schatting en -verificatie*

Elke grondwaterstandreeks is gemodelleerd met alle kandidaat-invloedsfactoren van die reeks. Vervolgens zijn alle geschatte modellen geverifieerd. Indien nodig is het tijdreeksmodel daarop handmatig aangepast, opnieuw geschat en weer geverifieerd, totdat het zo goed mogelijk voldeed aan de vooronderstellingen die aan het gehanteerde Box-Jenkins-model ten grondslag liggen. De belangrijkste vooronderstellingen zijn dat de modelresiduen onafhankelijke trekkingen zijn uit dezelfde normale kansverdeling (ze vormen dan *witte ruis*) en dat alle relevante invloedsfactoren van de grondwaterstand zijn meegenomen als invoerreeksen.

Modelverificatie

Na het schatten van alle modellen zijn deze geverifieerd op kenmerken van de modelresiduen en het ruismodel, zoals hieronder beschreven.

Het ruismodel is geformuleerd met alleen een 1^e-orde autoregressieve parameter (ϕ_1) en een constante (c). Bij de modelverificatie is vervolgens beoordeeld of daarmee voldoende kon worden bewerkstelligd dat de modelresiduen witte ruis vormen. Voor deze verificatie is de Portmanteau-toets gehanteerd, die is gebaseerd op de som van de gekwadrateerde autocorrelatiecoëfficiënten van de modelresiduen. De autocorrelatiecoëfficiënt is een maat voor de lineaire samenhang tussen waarden die zijn gescheiden door een bepaald tijdsinterval en wordt geschat als [Box and Jenkins, 1976]:

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (a_t - \bar{a}) \cdot (a_{t+k} - \bar{a})}{\sum_{t=1}^n (a_t - \bar{a})^2}$$

met $\hat{\rho}_k$ de geschatte autocorrelatiecoëfficiënt voor tijdsinterval k , a_t de t -de van de chronologisch gerangschikte modelresiduen, $\bar{a}$ het gemiddelde van de modelresiduen en n het aantal modelresiduen. De toetsingsgrootte Q_M van de Portmanteau-toets wordt berekend als [Ljung and Box, 1978]:

$$Q_M = n \cdot (n+2) \cdot \sum_{k=1}^M \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}$$

met M het aantal tijdsintervallen waarover de autocorrelatie wordt beschouwd (dit aantal hebben we op 15 gezet) en n het aantal modelresiduen. Onder de nulhypothese (*er is géén autocorrelatie*) zal Q_M afkomstig zijn uit een χ^2 -verdeling met aantal vrijheidsgraden gelijk aan $\min(M; n-1)-v$, waarin v het aantal autoregressieve en moving-average parameters van het ruismodel is. Als de modelresiduenreeks minstens uit 16 waarden bestaat en het ruismodel één autoregressieve parameter omvat, mogen we met 95% betrouwbaarheid aannemen dat de modelresiduen autocorrelatie vertonen als geldt:

$$Q_M > \chi^2_{(95\%;14)} = 23,685$$

met $\chi^2_{(95\%;14)} = 23,685$ het 95-percentiel van de χ^2 -verdeling bij 14 vrijheidsgraden.

Bij de modelverificatie is ook nagegaan of de 1^e-orde autoregressieve parameter van het ruismodel (ϕ_1) niet te hoog was geschat. Als namelijk voor deze parameter een hoge waarde is geschat, duidt dat er op dat de ruis een trend beschrijft en zo wellicht onterecht een deel van de invloed van de winning of een onvolledige modellering verdisconteert. Een onvolledige modellering kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van niet-lineairiteit en/of een ontbrekende invloedsfactor. Daarom hebben we de resultaten van een tijdreeksmodel niet meegenomen als ϕ_1 hoger dan 0,9 is geschat.

De statistische modellering leverde voor elke bij de modellering betrokken invoerreeks een schatting op van zijn statistische evenwichtsrelatie met de betreffende grondwaterstand, evenals de bijbehorende standaardfout, zijnde een maat voor de precisie van de schatting. Als wordt voldaan aan de vooronderstellingen die ten grondslag liggen aan het tijdreeksmodel (en het de verificatie doorstaat), dan kunnen we met 90%-betrouwbaarheid spreken van een statistisch significante evenwichtsrelatie als geldt:

$$\left| \frac{g}{s_g} \right| > t_{95\%;n-p}$$

met g de schatting van de evenwichtsrelatie van de betreffende grondwaterstand met de winning (m per eenheid volumestroom), s_g de standaardfout van die schatting (m per eenheid volumestroom) en $t_{95\%;n-p}$ het 95-percentiel van de Student-t-verdeling bij $n-p$ vrijheidsgraden, waarbij n het aantal waarden in de tijdreeks is en p het aantal modelparameters (als n voldoende groot, is $t_{95\%;n-p}$ ongeveer 1,64). We gaan in bovenstaande formule uit van de absolute waarde van de ratio van de geschatte evenwichtsrelatie en zijn standaardfout, zodat we ook een positieve relatie tussen grondwaterstand en winning als statistisch significant kunnen beoordelen, ook al is die fysisch onlogisch. Het kan namelijk als duidelijk signaal dienen dat er meer speelt rond de grondwaterstand dan het model kan beschrijven.

Statistisch significante relatie is geen bewijs voor een causale relatie

Een grote valkuil van tijdreeksmodellering is om een statistisch significante relatie direct te presenteren als een causale relatie. Een statistisch significante relatie is immers geen bewijs dat het ook een causale relatie betreft. Het doen van uitspraken over causale verbanden op basis van tijdreeksmodellering is daarom altijd een subjectieve vertaalslag, die volledig voor rekening komt van de onderzoeker.

Als de statistische relatie van de grondwaterstand met de winning een louter causale achtergrond heeft, dan is de evenwichtsrelatie op te vatten als een schatting van de stationaire verandering van de grondwaterstand die is veroorzaakt door de winning.

3.3 Wijze van presentatie van de modelresultaten

De modelresultaten die voor onze studie het meest relevant zijn, zijn de geschatte evenwichtsrelaties van de grondwaterstand met de betreffende drinkwaterwinning. Conform de hier gebruikte eenheden van de betrokken variabelen – hoogte grondwaterstand in meter (t.o.v. NAP) en volumestroom winning in 1.000 m³ per dag, 10.000 m³ per dag of miljoen m³ per jaar – schat de evenwichtsrelatie de verandering van de grondwaterstand (in meter) bij een stationaire winning ter grootte van de vermelde volumestroom.

Voor de presentatie van de modelresultaten hebben we elk van deze geschatte evenwichtsrelaties lineair geëxtrapoleerd naar een stationaire winning ter grootte van het bereik van de jaarsom van de volumestroom over de meest gebruikte modelperiode. Lineaire extrapolatie naar een andere volumestroom zal namelijk slechts te rechtvaardigen zijn als er sprake is van een volledig lineair reagerend systeem, maar het is niet bekend in hoeverre daar sprake van is. We zullen er dus niet zondermeer van uitgaan dat lineaire extrapolatie en superpositie overal en altijd gerechtvaardigd zijn. Om dezelfde reden zullen we ook het bereik vermelden waarbinnen de jaarsom van de volumestroom zich heeft bewogen in de betreffende periode. Deze informatie zal bijvoorbeeld van pas komen als een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld wordt gebruikt om de resultaten van een grondwatermodel te beoordelen (zie ook hoofdstuk 11).

Een voorbeeld om bovenstaande toe te lichten

Stel dat een tijdreeks van de maandgemiddelde grondwaterstand (m NAP) is gemodelleerd met als invoerreeksen het maandgemiddelde potentieel neerslagoverschot (mm/d) en de maandgemiddelde drinkwaterwinning (10.000 m³/d). De evenwichtsrelatie met de winning wordt daarbij geschat op -0,23 m/(10.000 m³/d), oftewel -0,23 m/(3,65 miljoen m³/j).

Voor deze winning is voor de tijdreeksmodellering meestal de modelperiode 1975 t/m 2013 gebruikt en het bereik van de jaarsom van de winning in die periode bedroeg 1,2 miljoen m³/j (maximum bedroeg 3,2 miljoen m³/j en minimum bedroeg 2,0 miljoen m³/j). We hebben de geschatte evenwichtsrelatie daarom gepresenteerd als $-0,23 \times (1,2/3,65) = -0,08 \text{ m}/(1,2 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$ en daarbij tevens aangegeven dat deze geldt voor een stationaire winningsverandering van 2,0 miljoen m³/j naar 3,2 miljoen m³/j.

De geschatte evenwichtsrelaties van de grondwaterstand worden voor elk van de zeven drinkwaterwinningen zowel tabelmatig als grafisch gepresenteerd. De grafische presentaties zijn: (1) een spreidingsdiagram waarin de schattingen zijn uitgezet tegen het zwaartepunt van de winning (ook wel aangeduid als *kegelplot*) en (2) een topografische kaart waarin ze ruimtelijk zijn weergegeven, met onderscheid naar watervoerend pakket. Deze kaarten zijn toegelicht in de bijlage.

4 Archemerberg

4.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2009] en factsheet Vitens.

De Archemerberg is een heuvel in de Overijsselse gemeente Ommen, nabij het buurtschap Archem, die evenals de zuidelijker gelegen Lemelerberg is ontstaan in de voorlaatste ijstijd, het Saalien. Het voortschrijdende landijs heeft toen fluviatiel zand, grind en klei opgestuwd en als grote schubben dakpansgewijs op elkaar gestapeld. Het ijs heeft ook grondmorene meegevoerd, bestaande uit keileem met zwerfstenen. Ten westen van de Archemerberg komen stuifzandgebieden voor. Deze zijn vooral het gevolg van menselijke activiteiten, zoals branden, kappen, plaggen en steken, waardoor gemakkelijk verstuiving optrad en het zand tot duinen opwaarde. Langs de flanken van de hoge stuwwal is op deze manier een nieuw reliëf ontstaan.

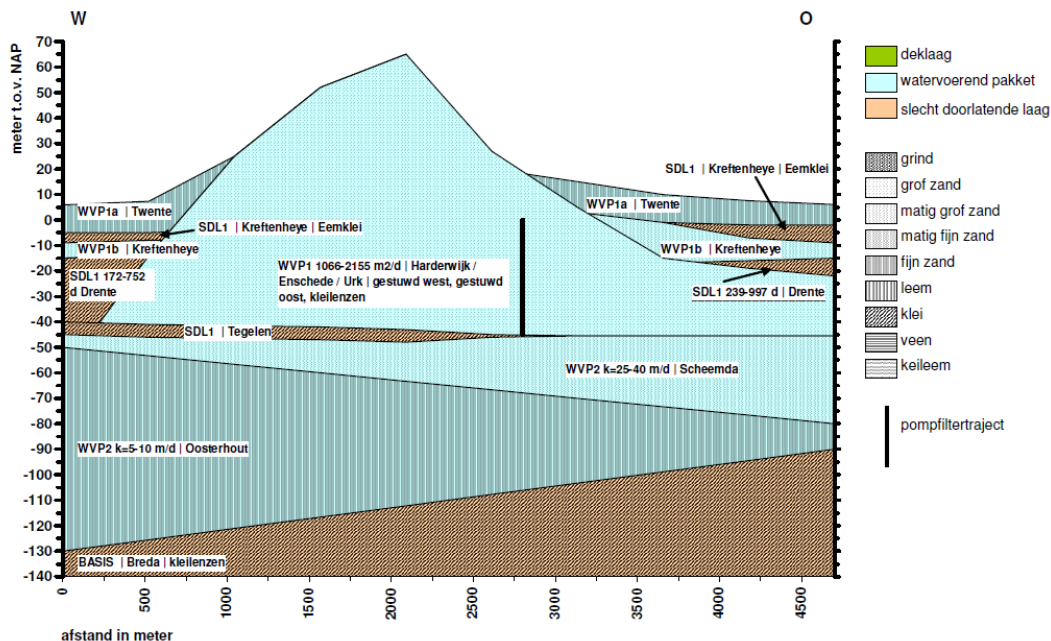
Archemerberg en Lemelerberg vormen een groot natuurgebied met vooral bos en heide.

De winning Archemerberg ligt ten zuiden van Ommen en ten noorden van Lemele, deels op de Lemelerberg. Het is een freatische winning die onttrekt uit het 1^e watervoerende pakket, met pompfilters op circa 20 tot 65 meter beneden maaiveld, dat zich daar op 20 meter boven NAP bevindt (zie figuur 4.1).

Figuur 4.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Archemerberg. Bron: factsheet Vitens.

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Archemerberg
Winveld: Archemerberg



Het 1^e watervoerend pakket is maximaal ruim 100 meter dik, van 65 meter boven NAP tot 45 meter onder NAP. Het bestaat uit gestuwd grof zand, afkomstig uit de Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk. Aan de randen wordt het afgedekt door fijne zanden van de Formatie van Twente, klei en

matig grof zand van de Formatie van Kreftenheye en klei van de Formatie van Drente. Onder dit pakket bevindt zich een dunne laag Tegelenklei, die vanaf het puttenterrein naar het westen reikt. Ten oosten van de winning bevindt zich beneden het grofzandige pakket een matig grofzandig pakket, afkomstig uit de Formatie van Scheemda. Dit pakket zit ook onder de Tegelenklei. Verder naar beneden liggen een fijnzandig pakket uit de Formatie van Oosterhout en een kleilaag uit de Formatie van Breda.

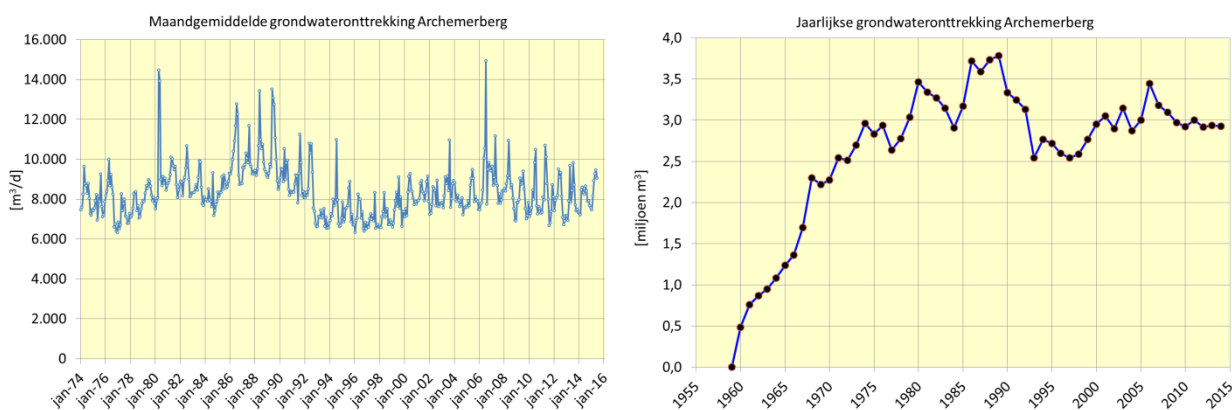
Het intrekgebied bestaat voornamelijk uit natuur en landbouw, met daarnaast woonfuncties (waaronder het dorp Lemele) en recreatieve functies (een aantal terreinen voor verblijfsrecreatie). Een deel van het intrekgebied behoort tot het Vecht- en Beneden-Reggegebied, een Natura 2000-gebied.

4.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Archemerberg is gestart in 1960 en het vergunningsdebiet bedraagt 4 miljoen m³/jaar. Momenteel zijn er 17 pomputten.

Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1974 en op jaarbasis vanaf 1960. Het verloop van de onttrekking is weergegeven in figuur 4.2, op maandbasis en op jaarbasis.

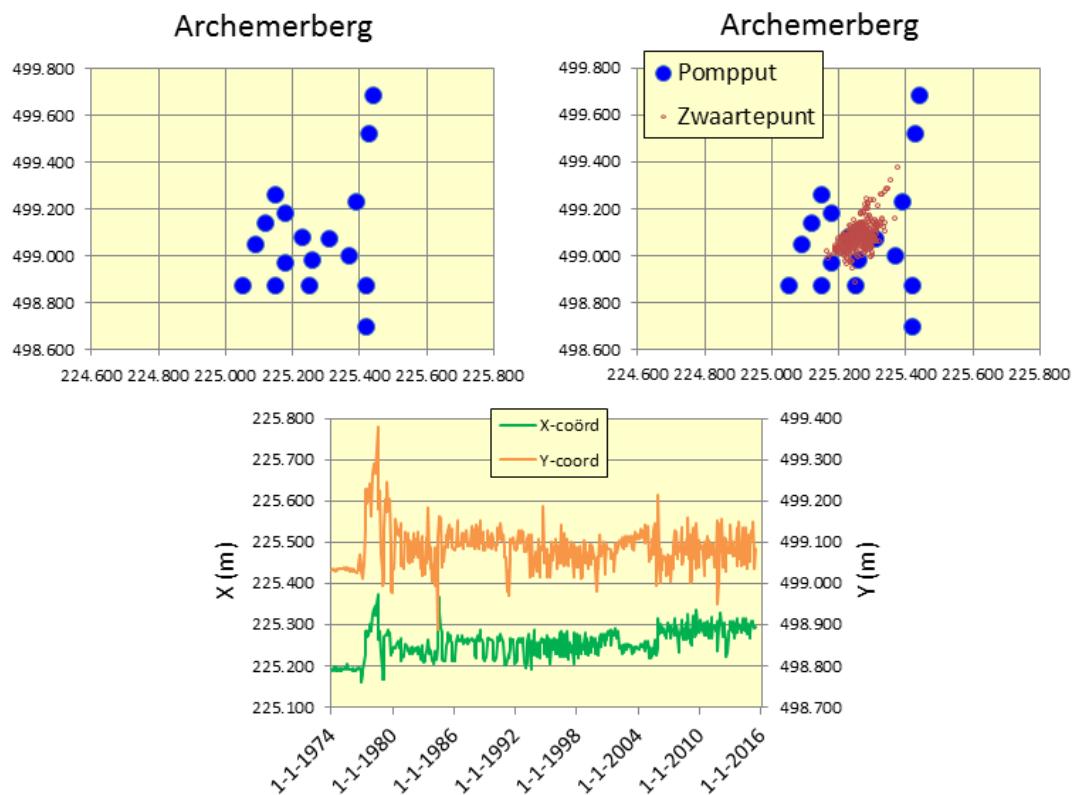
Figuur 4.2: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaats Archemerberg, op maandbasis vanaf 1974 (links) en op jaarbasis vanaf 1960 (rechts).



Na de start van de winning in 1960 is deze eerst snel toegenomen tot 2,3 miljoen m³ in 1968 en vervolgens enigszins minder snel tot 3,8 miljoen m³ in 1989. De laatste jaren is het winningsniveau vrij constant op circa 2,9 miljoen m³ per jaar.

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning is op maandbasis weergegeven in figuur 4.3, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt.

Figuur 4.3: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Archemerberg. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode januari 1974 t/m juni 2015. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in de periode januari 1974 t/m juni 2015.



De ruimtelijke spreiding van de pompputten is relatief groot, met 390 meter in de X-richting en 980 meter in de Y-richting. Van de peilfilters met modelresultaten zijn er vijf die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevinden (zie ook tabel 4.1). Het is mogelijk dat voor deze peilfilters de geschatte evenwichtsrelatie met de winning is vertekend, aangezien de modellering alleen rekening houdt met de totale winning en niet die van afzonderlijke pompputten.

Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode relatief veel verplaatst, namelijk 210 meter in de X-richting en 490 meter in de Y-richting. De grootste verplaatsingen traden op in 1977 en 1978, waarna de locatie van het zwaartepunt redelijk stabiel bleef. De verplaatsingen kunnen voor dichtbij de winning gelegen peilfilters hebben geleid tot vertekening van de geschatte evenwichtsrelatie met de winning, aangezien de modellering geen rekening houdt met een invloed van de verplaatsing op de grondwaterstand.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 225.257 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 499.085 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

4.3 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 264 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 146 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Archemerberg. De vroegste reeksstart is in augustus 1952 en de laatste in juni 2012, terwijl het vroegste reekseind in december 1974 is en het laatste in juni 2014. De kortste reeks omvat 1,3 jaar en de langste 60,6 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 16,2 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op jaarbasis, omdat het patroon van de winning Archemerberg zich op maandbasis te weinig onderscheidt van het patroon van het potentieel neerslagoverschot. Over de periode januari 1974 t/m december 2013 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden -0,44, terwijl die van hun jaarwaarden -0,20 bedraagt. Een aanvullende reden is dat in deze stuwwalomgeving vaak sprake is van een dikke onverzadigde zone en daarmee van een zeer lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot. Dergelijke sterk uitgesmeerde relaties laten zich doorgaans beter modelleren op jaarbasis.

Als modelperiodevenster is de periode 1978 t/m 1987 genomen. Deze periode omvat namelijk een zo groot mogelijke verandering van de jaarlijkse winning (circa 1 miljoen m³), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodellerings zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1978;
2. het reekseind is niet eerder dan 1987;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 6 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Archemerberg;
4. de dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is Archemerberg;
5. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning;
6. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op jaarbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winning Archemerberg en het potentieel neerslagoverschot. Er zijn geen andere invoerreeksen bij de modellering betrokken. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 kwam voor één grondwaterstandreeks nog wel een andere grondwateronttrekking in aanmerking (van het gascompressorstation Ommen), maar de betreffende peilbuis bevindt zich al dermate ver van het zwaartepunt van de winning Archemerberg (4,8 km) dat we ervoor hebben gekozen die grondwaterstandreeks niet te modelleren.

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

7. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de jaren zonder waarde en er zijn niet meer dan 2 opeenvolgende jaren zonder waarde;
8. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
9. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel⁷ geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van vijftien tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria).

4.4 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 35 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 23 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Archemerberg, met als eenheid $\text{m}/(\text{miljoen m}^3/\text{j})$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $\text{m}/(1,2 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Archemerberg over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1978 t/m 2012. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van 2,6 miljoen m^3/j naar 3,8 miljoen m^3/j . Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 4.1 en ook weergegeven in figuur 4.4, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze voor het 1^e watervoerende pakket nog weergegeven in kaart 4.1.

⁷ Het deterministische deel van het tijdreeksmodel beschrijft alleen de relaties met de invoerreeksen. Het omvat dus niet het (stochastische) ruisdeel.

Tabel 4.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Archemerberg, bij een stationaire winning van 1,2 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1		Wvp2	
		X (m)	Y (m)		Evrel m/(1,2 miljoen m ³ /j)	Stft	Evrel	Stft
28AP0029	1	225.344	499.068	88	-1,42	0,34		
28AP0031	1	225.474	499.116	220	-0,77	0,25		
28AP0046	1	225.144	498.869	244	-0,66	0,33		
28AP0046	2	225.144	498.869	244	-0,67	0,36		
28AP0053	1	225.218	499.342	260	-0,78	0,38		
28AP0032	1	225.455	499.304	295	-0,79	0,19		
28AP0048	1	225.437	498.796	340	-0,93	0,32		
28AP0090	1	225.720	499.580	678	-0,32	0,36		
28AP0068	2	224.804	499.633	711	-0,43	0,35		
28AP0068	3	224.804	499.633	711	-0,51	0,30		
28AP0073	1	225.700	499.713	768	-0,49	0,32		
28AP0073	2	225.700	499.713	768	-0,52	0,27		
28AP0088	1	225.910	499.550	802	-0,61	0,28		
28AP0075	1	225.975	498.632	850	-0,48	0,30		
28AP0075	2	225.975	498.632	850	-0,44	0,32		
28AP0087	1	226.100	499.580	978	-0,25	0,24		
28AP0072	2	224.183	499.475	1.143	-0,39	0,28		
22CP0084	1	225.096	500.228	1.154	-0,32	0,40		
28AP0079	1	225.579	497.851	1.276	-0,40	0,22		
28AP0079	2	225.579	497.851	1.276	-0,33	0,24		
28AP0076	2	224.450	497.770	1.543	-0,12	0,34		
28AP0092	1	223.536	498.760	1.751	-0,15	0,35		
28AP0092	2	223.536	498.760	1.751	-0,23	0,29		
28AP0077	2	224.588	496.943	2.244	-0,25	0,25		
28AP0077	3	224.588	496.943	2.244	-0,18	0,30		
28AP0023	1	223.077	498.171	2.364	-0,10	0,22		
22CL0069	1	225.317	501.570	2.486	0,02	0,41		
28AP0062	1	224.558	496.185	2.983	-0,23	0,20		
28AP0057	1	222.797	495.036	4.738	0,00	0,05		
28AP0057	2	222.797	495.036	4.738	0,01	0,05		
28AP0057	3	222.797	495.036	4.738			0,00	0,08
28AP0057	4	222.797	495.036	4.738			0,00	0,09
28AP0057	5	222.797	495.036	4.738			0,05	0,08
28AP0057	6	222.797	495.036	4.738			-0,06	0,10
28AP0058	1	226.608	494.375	4.900	0,00	0,08		

Toelichting

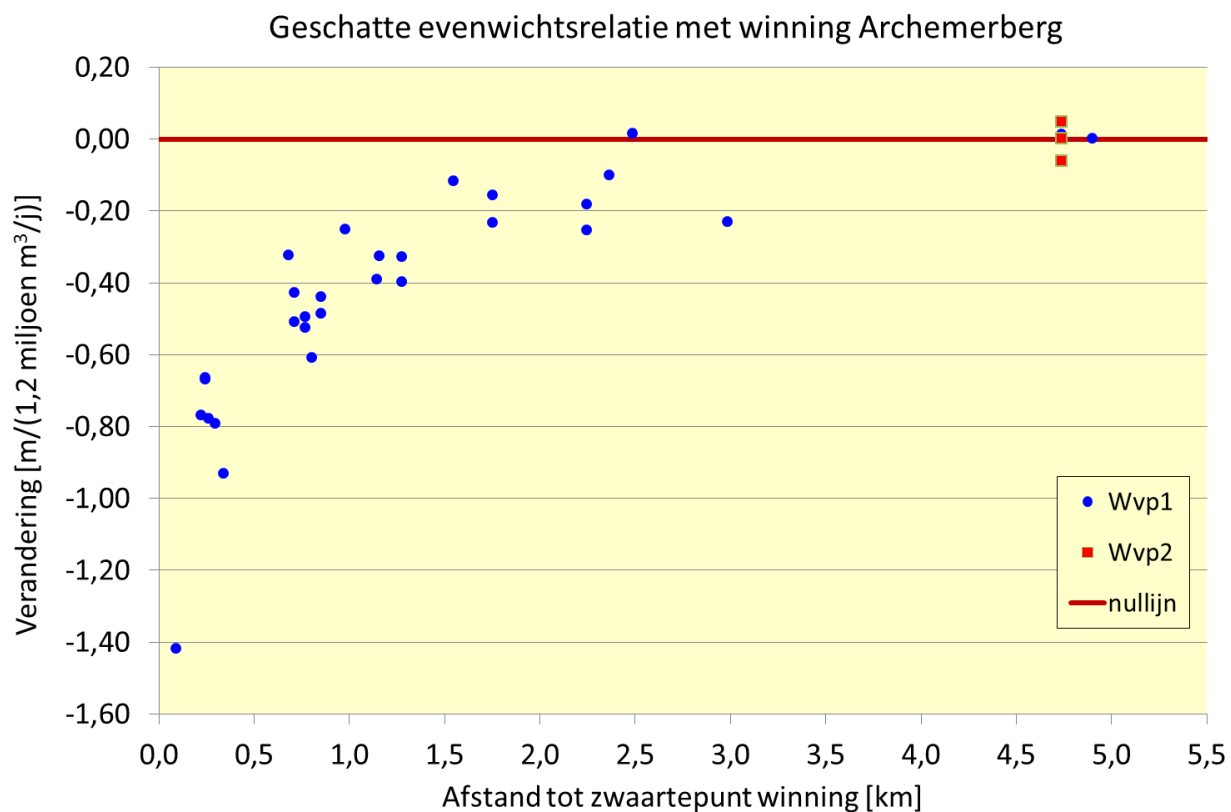
-0,23

statistisch significant negatief

28AP0038

peilbuis binnen 100 meter van een pompput

Figuur 4.4: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Archemerberg, bij een stationaire winning van 1,2 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



© Icastat



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 4.1, figuur 4.4 en kaart 4.1 zijn de volgende.

- Van de 35 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Archemerberg zijn er 11 statistisch significant negatief. Dit betreft 11 meetreeksen uit wvp1.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-1,42 \text{ m}/(1,2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, voor een peilfilter in wvp1 op 88 meter van het zwaartepunt van de winning. De betreffende peilbuis bevindt zich op slechts 34 meter van een pompput.
- Het totaalbeeld is dat van een enigszins diffuse verlagingskegel.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $1,2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk 3 à 4 km uit.

5 Goor

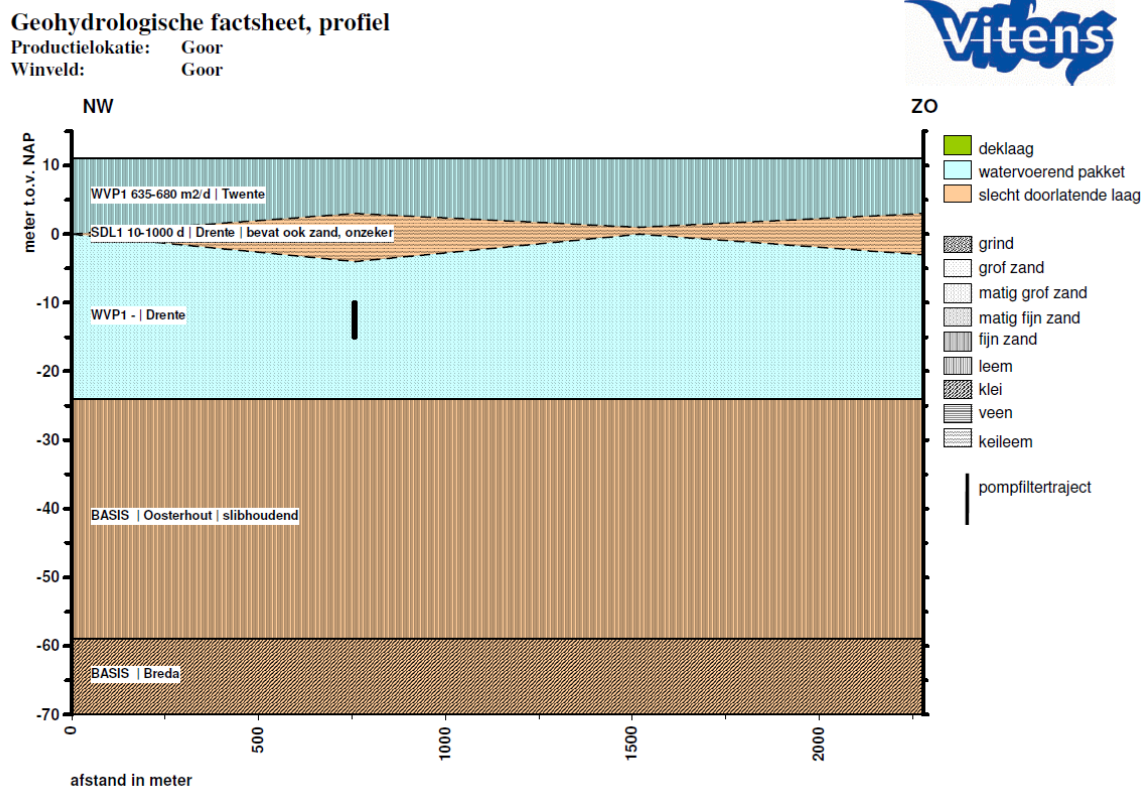
5.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2009] en factsheet Vitens.

De drinkwaterwinning Goor ligt ten zuidwesten van Goor en onttrekt sinds 1962 uit een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket, met pompfilters op 20 - 25 meter onder het maaiveld, dat zich op circa 10 meter boven NAP bevindt.

Het 1^e watervoerende pakket (WVP1 in figuur 5.1) bestaat uit drie lagen. De bovenste laag bestaat uit fijn zand uit de Formatie van Twente. Daaronder ligt een keileemlaag, die tussen 2 en 10 meter dik is en ook zand bevat. De derde laag bestaat uit grove zanden uit de Formatie van Drente, waaruit de winning Goor onttrekt. Ondanks de aanwezigheid van een relatief slecht doorlatende keileemlaag, worden deze drie bovenste bodemlagen doorgaans gezien als één watervoerend pakket. Wij zullen hier bij het presenteren van de resultaten van de tijdreeksmodellering echter onderscheid maken tussen de subpakketten 1a (Formatie van Twente) en 1b (Formatie van Drente). Onder het eerste watervoerend pakket ligt slibhoudend fijn zand uit de Formatie van Oosterhout.

Figuur 5.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Goor. Bron: factsheet Vitens.

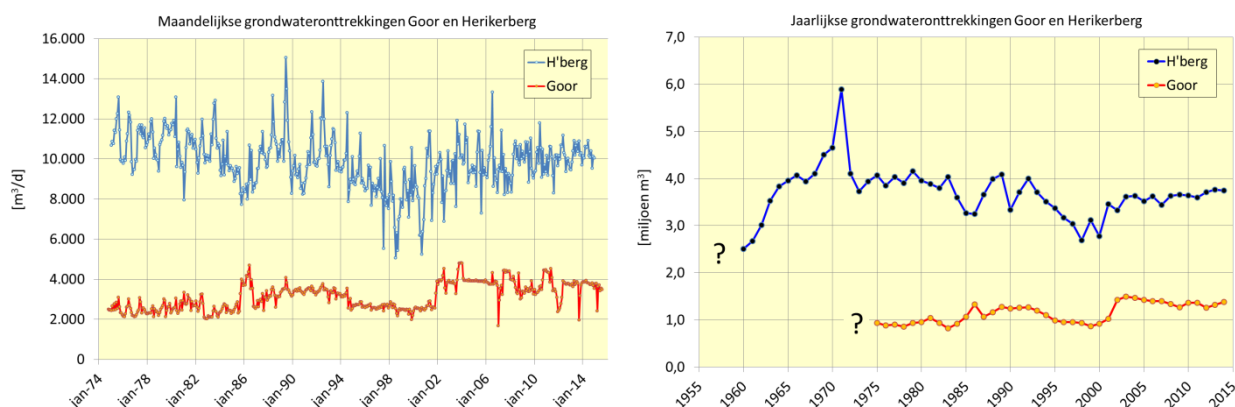


5.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Goor is gestart in 1962 en het vergunningsdebiet bedraagt 1,5 miljoen m^3/jaar . De winning omvat 18 pompputten, waarvan er momenteel 9 operationeel zijn.

Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf oktober 1974 en op jaarbasis vanaf 1975. Het verloop van de onttrekking is weergegeven in figuur 5.2, op maandbasis en op jaarbasis. Daarbij is tevens het verloop weergegeven van de onttrekking Herikerberg (zie ook hoofdstuk 7), aangezien die winning zich op slechts 2 km bevindt en daarom ook als mogelijke invloedsfactor dient te worden verdisconteerd bij de statistische modellering van de grondwaterstandreeksen in de omgeving.

Figuur 5.2: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaatsen Goor en Herikerberg, op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts).

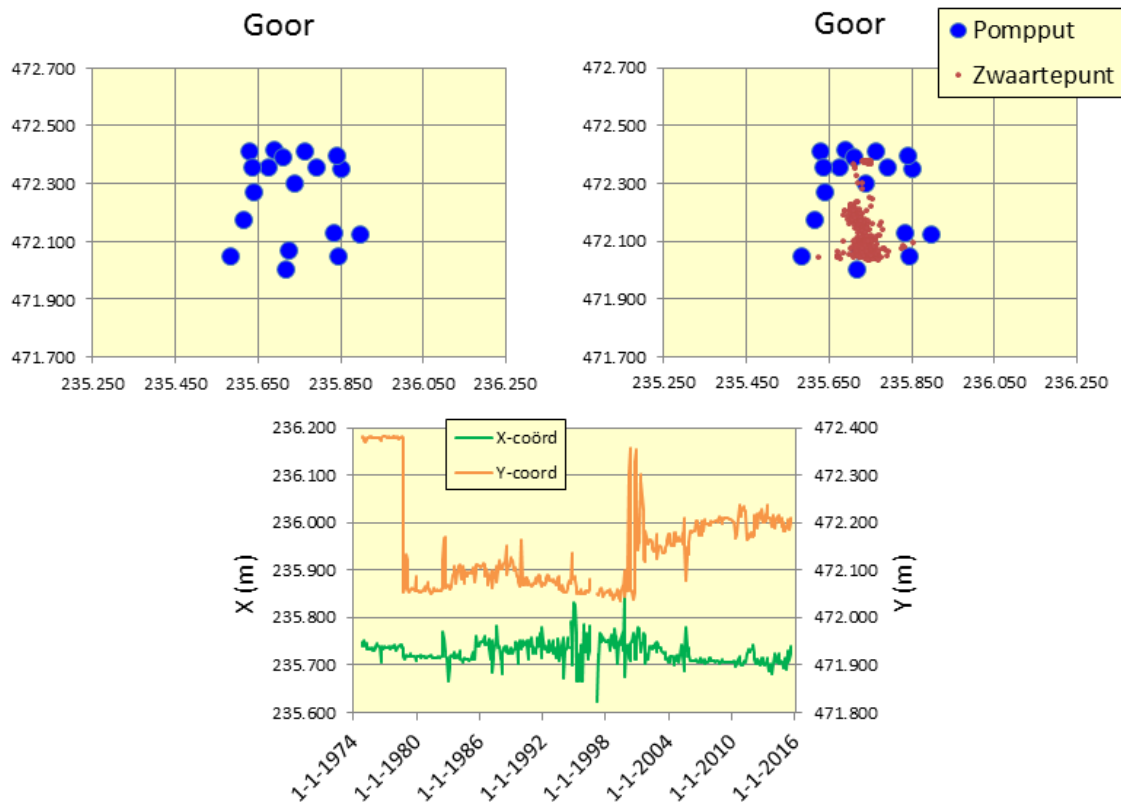


Van 1975 tot 2002 schommelde de winning Goor doorgaans tussen 0,9 en 1,2 miljoen m^3/jaar , maar in 2002 was er een snelle toename en sindsdien bedroeg de winning 1,4 à 1,5 miljoen m^3/jaar .

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning is op maandbasis weergegeven in figuur 5.3, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt.

De ruimtelijke spreiding van de pompputten bedraagt 310 meter in de X-richting en 410 meter in de Y-richting. Van de peilfilters met modelresultaten zijn er 5 die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevinden (zie ook tabel 5.1). Het is mogelijk dat voor deze peilfilters de geschatte evenwichtsrelatie met de winning is vertekend, aangezien de modellering alleen rekening houdt met de totale winning en niet die van afzonderlijke pompputten.

Figuur 5.3: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Goor. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode oktober 1974 t/m augustus 2015. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in de periode oktober 1974 t/m augustus 2015.



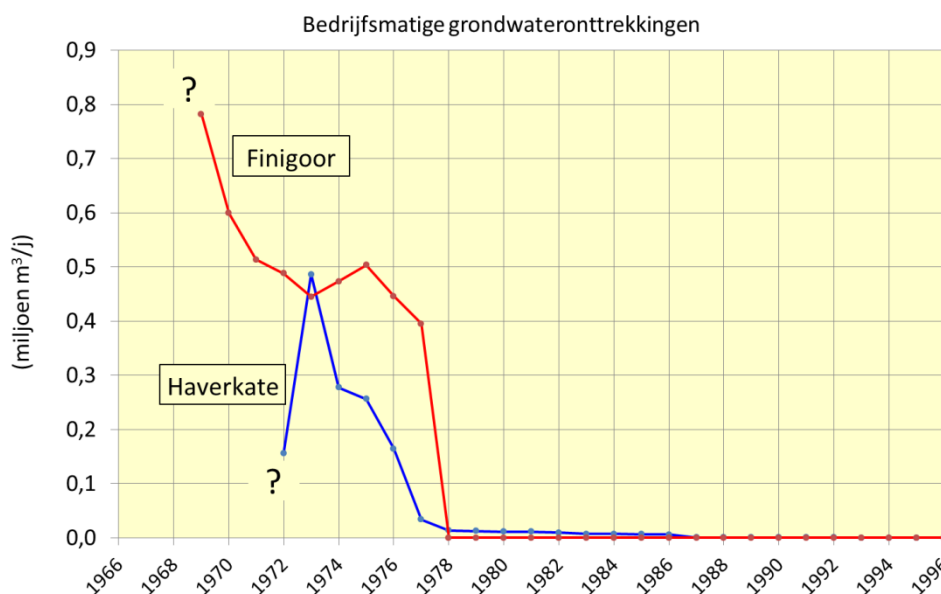
Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode relatief veel verplaatst, namelijk 230 meter in de X-richting en 350 meter in de Y-richting. In 1978, 2000 en 2001 waren er grote verplaatsingen van het zwaartepunt in de Y-richting. Deze kunnen voor dicht bij de winning gelegen peilfilters hebben geleid tot vertekening van de geschatte evenwichtsrelatie met de winning, aangezien de modellering geen rekening houdt met een invloed van de verplaatsing op de grondwaterstand.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 235.724 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 472.115 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

5.3 Relevante andere grondwateronttrekkingen

Gelet op hun onttrekkingsgroottes en hun afstanden tot de in deze studie beschouwde peilbuizen zijn andere relevante grondwateronttrekkingen in de omgeving die van de bedrijven J.W. Haverkate BV en Finigoor BV. De vergunningendatabase van de Provincie bevat van beide de onttrekkingscijfers op jaarbasis, van Haverkate vanaf 1972 en van Finigoor vanaf 1969 (zie figuur 5.4).

Figuur 5.4: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op jaarbasis van de bedrijfsmatige winningen van J.W. Haverkate BV en Finigoor BV.



De winning Haverkate bedroeg over de periode vanaf 1972 maximaal 0,49 miljoen m³ per jaar (in 1973) en is daarna in enkele stappen sterk afgenomen tot 0,03 miljoen m³ in 1977. Deze winning is gestopt 1 mei 1993. De winning Finigoor bedroeg in 1969 nog 0,78 miljoen m³ per jaar, maar is daarna met korte onderbrekingen sterk gedaald. De winning is gestopt in 1977.

5.4 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 149 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 103 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Goor. De vroegste reeksstart is in december 1942 en de laatste in juni 2012, terwijl het vroegste reekseind in april 1968 is en het laatste in januari 2014. De kortste reeks omvat 1,1 jaar en de langste 70,6 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 32,9 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op maandbasis, omdat het patroon van de winning Goor op maandbasis voldoende onderscheidend is van het patroon van het potentieel neerslagoverschot. Over de periode januari 1975 t/m december 2014 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden slechts -0,15.

Als modelperiodevenster is de periode 1995 t/m 2008 genomen. Deze periode omvat namelijk een grote verandering van de jaarlijkse winning (circa 0,6 miljoen m³), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodelleringen zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1995;
2. het reekseind is niet eerder dan 2008;

3. de peilbuis bevindt zich binnen 5 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Goor;
4. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning dan Goor of Herikerberg;
5. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op maandbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winningen Goor, Herikerberg en het potentieel neerslagoverschot. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 is voor een vijftal grondwaterstandreeksen ook de grondwateronttrekking van Finigoor BV meegenomen als invoerreeks. Deze is slechts beperkt verstrengeld met de andere invoerreeksen (zie figuur 5.5). De winning Herikerberg is matig sterk verstrengeld met het neerslagoverschot (correlatiecoëfficiënt van -0,36), maar dit hoeft geen nadelige invloed te hebben op de schatting van de evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Goor.

Figuur 5.5: Correlatiematrix van de invoerreeksen op maandbasis, over de periode 1976 t/m 2013.

	PNO	Goor	Herikerb	Finig
PNO	1,00			
Goor	-0,15	1,00		
Herikerb	-0,36	0,10	1,00	
Finig	-0,07	-0,25	0,17	1,00

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

6. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de maanden zonder waarde en er zijn niet meer dan 24 opeenvolgende maanden zonder waarde;
7. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
8. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn er geen resultaten afgekeurd die voldeden aan de overige criteria.

5.5 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 40 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 31 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Goor, met als eenheid $\text{m}/(10.000 \text{ m}^3/\text{d})$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $\text{m}/(0,7 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Goor over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1976 t/m 2013. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van $0,8 \text{ miljoen m}^3/\text{j}$ naar $1,5 \text{ miljoen m}^3/\text{j}$. Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 5.1 en ook weergegeven in figuur 5.6, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze weergegeven in de kaarten 5.1 (wvp1a) en 5.2 (wvp1b).

Tabel 5.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Goor, bij een stationaire winning van 0,7 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1a		Wvp1b	
		X (m)	Y (m)		Evrel m/(0,7 miljoen m ³ /j)	Stft	Evrel	Stft
34BP0214	1	235.804	472.067	93	-0,31	0,04		
34BP0214	2	235.804	472.067	93			-0,72	0,17
34BP0213	1	235.774	472.256	149	-0,31	0,05		
34BP0213	2	235.774	472.256	149			-0,95	0,11
34BP0208	1	235.865	472.438	353	-0,44	0,07		
34BP0290	1	235.374	472.375	436	-0,50	0,09		
34BP0290	2	235.374	472.375	436			-0,78	0,09
34BP0293	1	235.499	471.669	500	-0,02	0,04		
34BP0210	1	235.198	471.845	591	-0,14	0,03		
34BP0291	1	236.331	472.342	648	-0,32	0,09		
34BP0243	1	235.977	472.722	657	-0,24	0,04		
34BP0243	2	235.977	472.722	657			-0,32	0,04
34BP0295	1	235.886	471.461	674	-0,08	0,04		
34BP0295	2	235.886	471.461	674			-0,16	0,03
34BP0294	1	236.362	471.788	717	-0,03	0,05		
34BP0294	2	236.362	471.788	717			0,02	0,02
34BP0207	1	234.992	472.621	890	-0,23	0,08		
34BP0292	1	236.650	472.153	927	-0,04	0,06		
34BP0241	1	235.358	472.967	927	-0,30	0,06		
34BP0241	2	235.358	472.967	927			-0,33	0,06
34BP0209	1	235.845	473.110	1.002	-0,11	0,04		
34BB0196	1	235.843	473.113	1.005			-0,19	0,03
34BP0242	1	236.338	473.145	1.200	-0,04	0,04		
34BP0050	1	234.578	471.366	1.369	0,02	0,02		
34BP0296	1	236.171	470.786	1.403	0,06	0,02		
34BP0239	1	235.639	473.539	1.427	-0,07	0,03		
34BP0049	1	234.332	471.548	1.503	0,07	0,04		
34BP0240	1	236.238	473.608	1.579	-0,02	0,05		
34BP0285	1	235.110	473.624	1.629	-0,03	0,06		
34BP0285	2	235.110	473.624	1.629			-0,04	0,04
34BP0206	1	234.736	473.422	1.638	0,00	0,14		
34BP0216	1	233.777	471.607	2.012	-0,11	0,11		
34BP0289	1	234.074	470.689	2.181	-0,04	0,04		
34BP0289	2	234.074	470.689	2.181			-0,06	0,06
34BP0301	1	236.150	469.750	2.403	0,13	0,08		

Wordt vervolgd op volgende pagina.

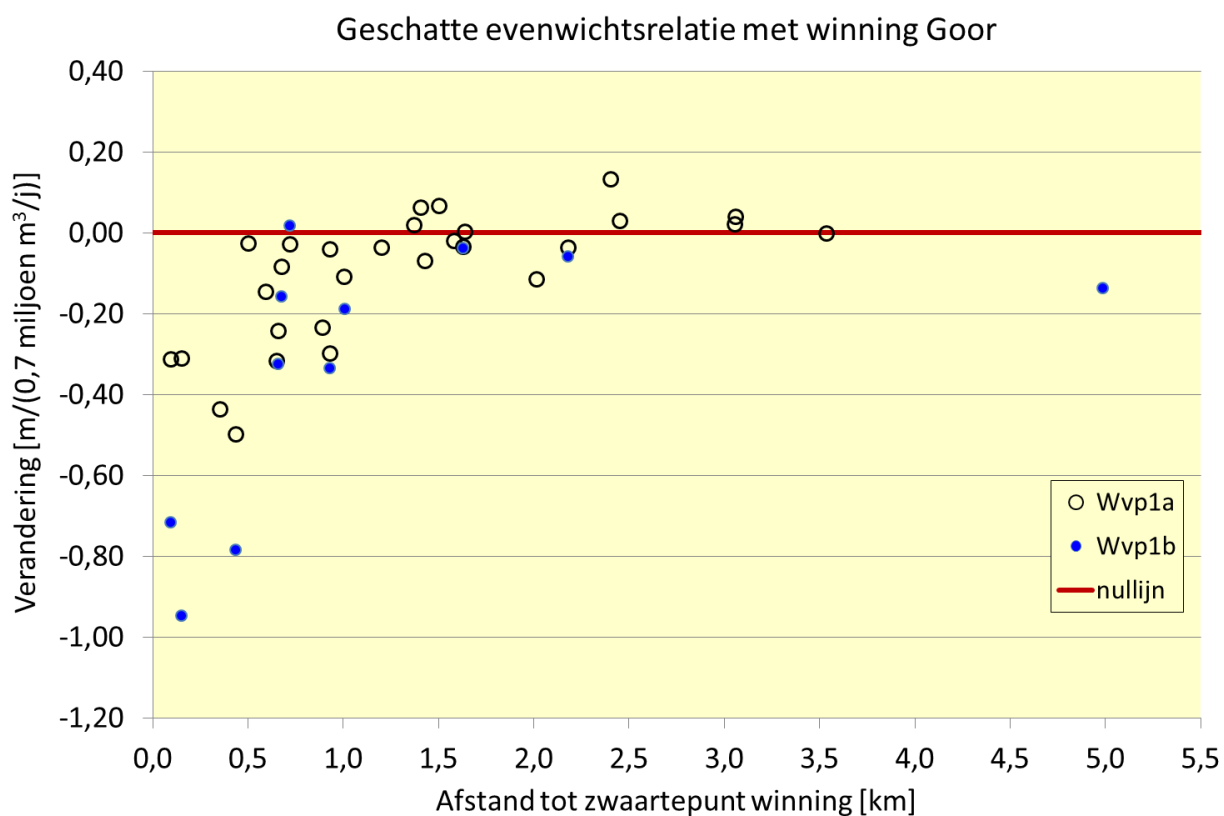
Tabel 5.1: Vervolg.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1a		Wvp1b	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(0,7 miljoen m³/j)			
34BP0205	1	234.340	474.135	2.449	0,03	0,06		
34BP0060	1	233.204	470.390	3.054	0,02	0,02		
34BP0059	1	232.966	470.799	3.056	0,04	0,06		
34BP0061	1	233.110	469.735	3.535	0,00	0,01		
34BP0193	2	234.325	467.330	4.985			-0,14	0,06

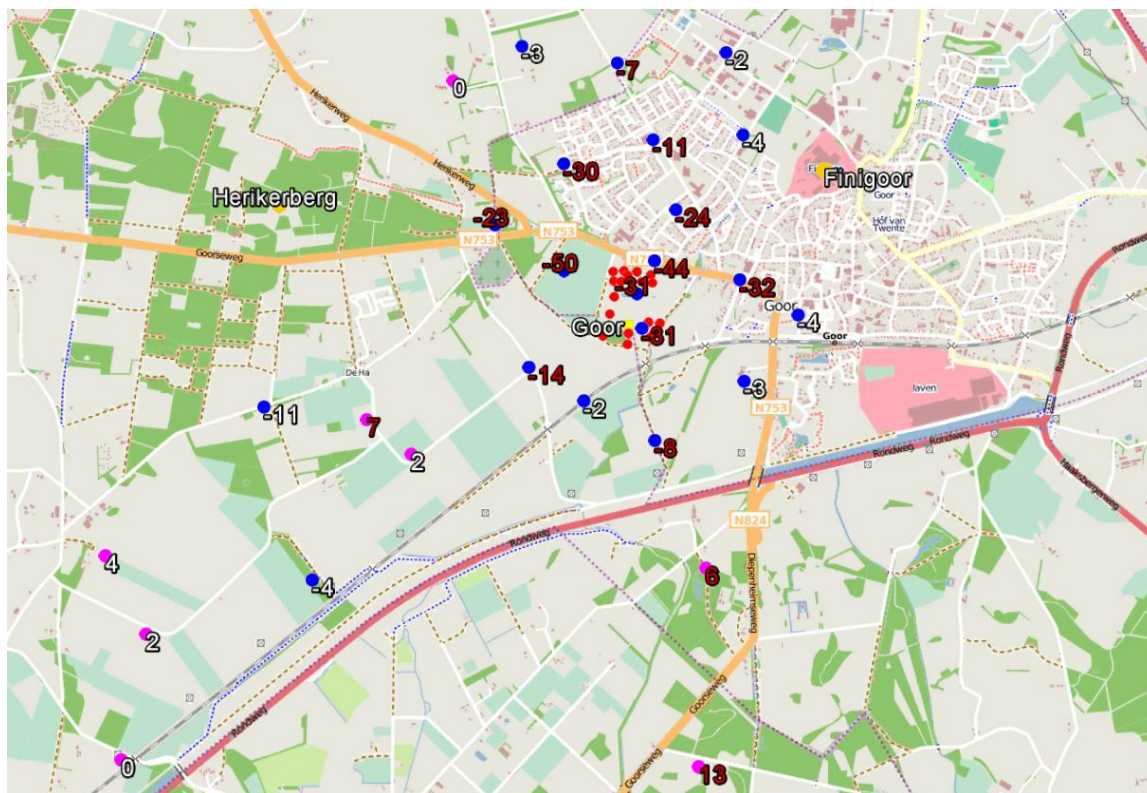
Toelichting

-0,23	statistisch significant negatief
0,10	statistisch significant positief (fysisch onlogisch)
34BP0214	peilbuis binnen 100 meter van een pompput

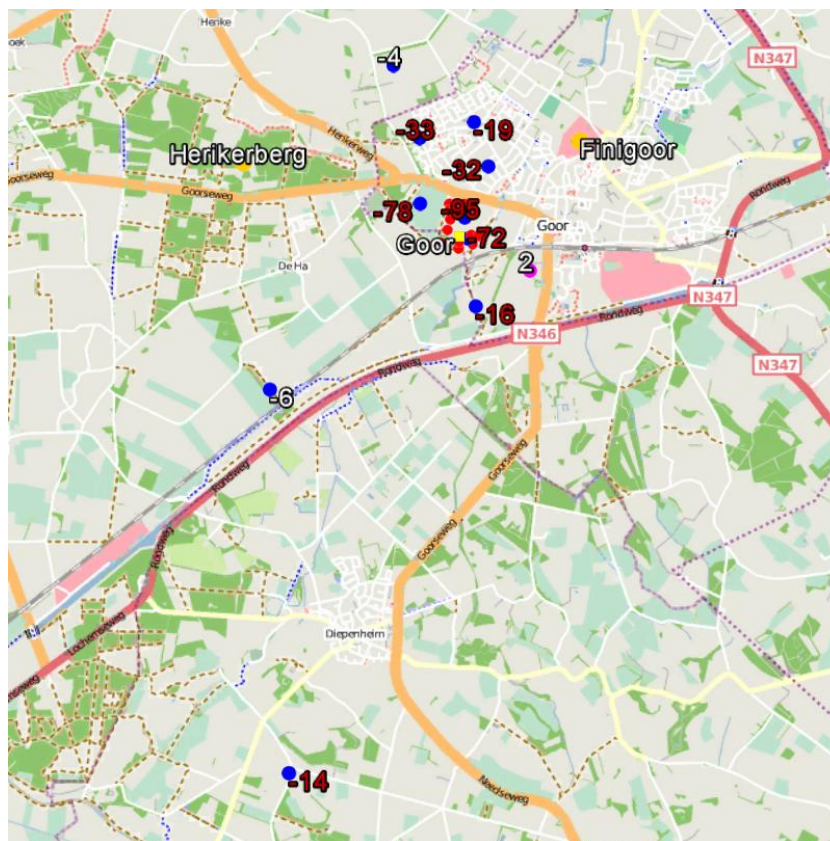
Figuur 5.6: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Goor, bij een stationaire winning van 0,7 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



Kaart 5.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1a met de winning Goor, in cm/(0,7 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 5.2: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1b met de winning Goor, in cm/(0,7 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 5.1, figuur 5.6 en de kaarten 5.1 en 5.2 zijn de volgende.

- Van de 40 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Goor zijn er 23 statistisch significant (15 uit wvp1a en 8 uit wvp1b), waarvan 20 negatief (12 uit wvp1a en 8 uit wvp1b).
- Bij gelijke afstand is de geschatte verandering voor wvp1b meestal groter dan voor wvp1a. Deze verschillen zijn het grootst nabij de winning.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-0,95 \text{ m}/(0,7 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, voor een peilfilter in wvp1b op 149 meter van het zwaartepunt van de winning. De betreffende peilbuis bevindt zich op slechts 56 meter van een pompput.
- Het totaalbeeld is dat van een diffuse verlagingskegel.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $0,7 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk 2,5 à 3 km uit.

6 Hasselo

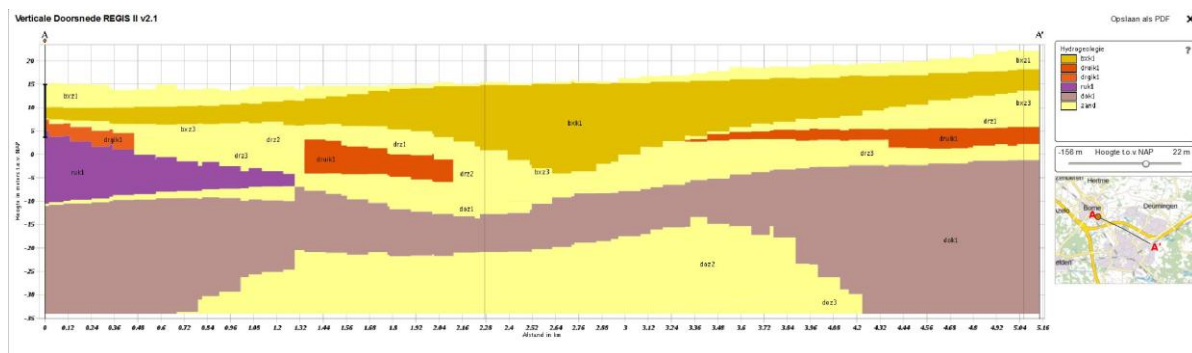
6.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2010] en factsheet Vitens.

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 maaiveld bevindt zich op 15 à 16 meter NAP. Het grondwater wordt sinds 1934 onttrokken uit een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket, op een diepte van 19 - 24 meter onder maaiveld.

In een groot deel van het vigerend intrekgebied is een slecht doorlatende laag van meer dan 10 meter dik aanwezig boven het winpakket. In het noordelijke deel van het grondwaterbeschermingsgebied neemt de dikte van deze laag echter af tot minder dan 1 meter.

Figuur 6.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Hasselo.⁸ De winning vindt plaats ter hoogte van de verticale lijn, zowel direct boven als direct onder de kleilaag (grijs gekleurd).



Het grondgebruik in het vigerend intrekgebied bestaat voornamelijk uit stedelijk gebied. Binnen het grondwaterbeschermingsgebied is echter voornamelijk sprake van agrarisch gebruik, bos en sportterreinen. Een deel van het vigerend intrekgebied in het oosten overlapt met het Natura 2000-gebied Lonnekermeer.

Interceptie van verontreinigd grondwater

Een deel van het grondwater dat op weg is naar de winputten wordt afgevangen met een schermput (ook wel aangeduid als interceptieput). Het betreft met VOC's verontreinigd grondwater, dat afkomstig is van de voormalige stortplaats Topweg/Torenlaan. Met deze interceptie wordt beoogd de verontreinigingsstroom te beheersen. Het afgevangen water wordt gezuiverd en vervolgens geloosd op een waterloop, die overgaat in de Tijersbeek.

De interceptie is gestart op 3 oktober 1988 en was tot 2012 onder beheer van Vitens, waarna het beheer is overgenomen door de gemeente Hengelo. Inmiddels zijn er ook twee schermputten bijgekomen vlak bij de voormalige stortplaats. De onttrekkingscijfers van de interceptie van ná 2012 zijn echter nog niet op bruikbare wijze beschikbaar.⁹

⁸ Profiel beschikbaar gesteld door Thomas de Meij, beleidsmedewerker geohydrologie van de Provincie Overijssel.

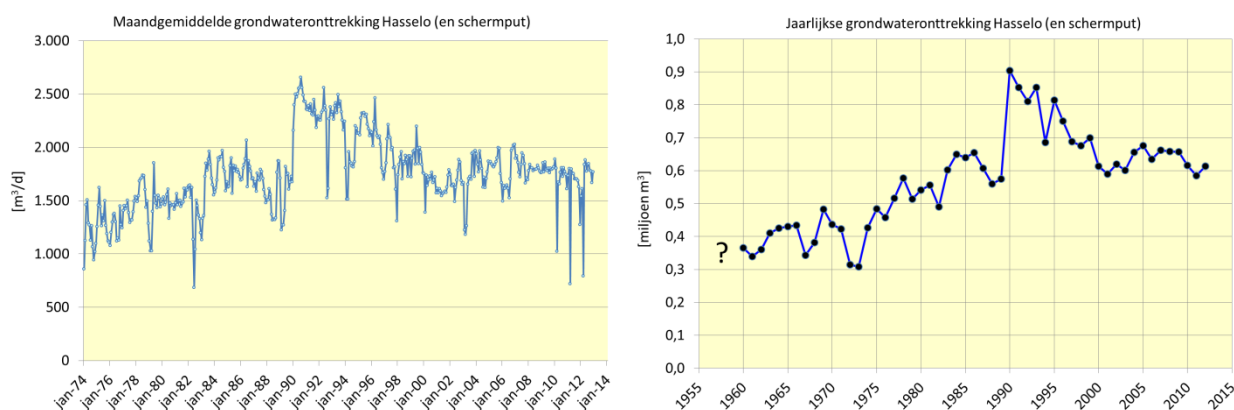
⁹ Hierover is contact geweest met Stephan Euverink, Adviseur bodemonderzoek & bodemsanering van de gemeente Hengelo.

6.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Hasselo is gestart in 1934 en het vergunningsdebiet bedraagt 0,69 miljoen m³/jaar. De winning omvat 14 pompputten, waarvan er momenteel nog 8 operationeel zijn. Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1974 en op jaarbasis vanaf 1960.

Aangezien de schermput tussen de pompputten ligt, zullen we zijn onttrekking voor onze verdere analyses toevoegen aan die van de winning Hasselo. Het verloop van deze gesommeerde onttrekking is weergegeven in figuur 6.2, op maandbasis en op jaarbasis.

Figuur 6.2: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaats Hasselo (inclusief de schermput), op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts).



De totale onttrekking is van 1960 tot 1990 met onderbrekingen toegenomen van 0,3 tot 0,6 miljoen m³/jaar, waarna er in 1990 een abrupte toename was tot 0,9 miljoen m³/jaar. Hierna is de onttrekking weer geleidelijk gedaald tot 0,6 miljoen m³/jaar in 2012.

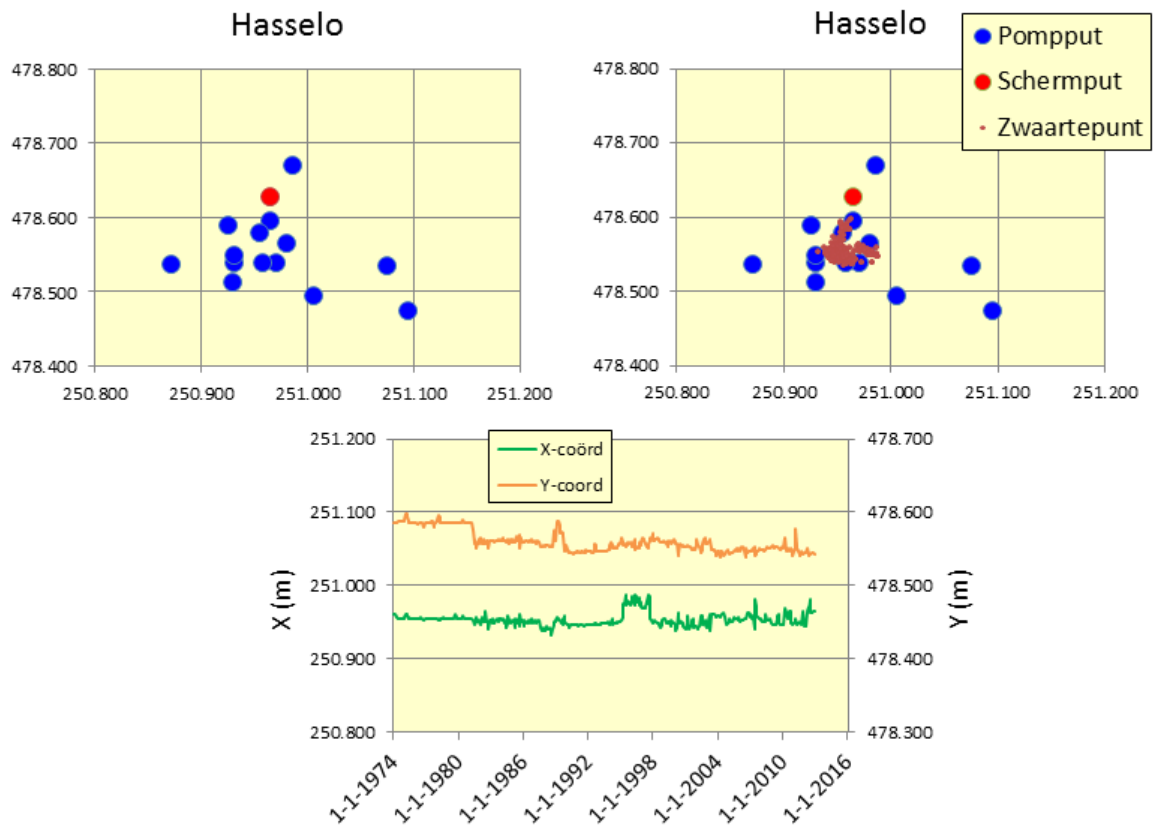
Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning is op maandbasis weergegeven in figuur 6.3, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt.

De ruimtelijke spreiding van de pompputten bedraagt 220 meter in de X-richting en 200 meter in de Y-richting. Van de peilfilters met modelresultaten is er één die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevindt (zie ook tabel 6.1). Het is mogelijk dat voor dit peilfilter de geschatte evenwichtsrelatie met de winning is vertekend, aangezien de modellering alleen rekening houdt met de totale winning en niet die van afzonderlijke pompputten.

Het zwaartepunt van de winning is binnen de in figuur 6.3 beschouwde periode slechts weinig verplaatst, namelijk 60 meter in de X-richting en 60 meter in de Y-richting.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 250.952 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 478.556 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

Figuur 6.3: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Hasselo en de schermput. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode januari 1974 t/m december 2012. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de gesommeerde winning op maandbasis, eveneens in de periode januari 1974 t/m december 2012.

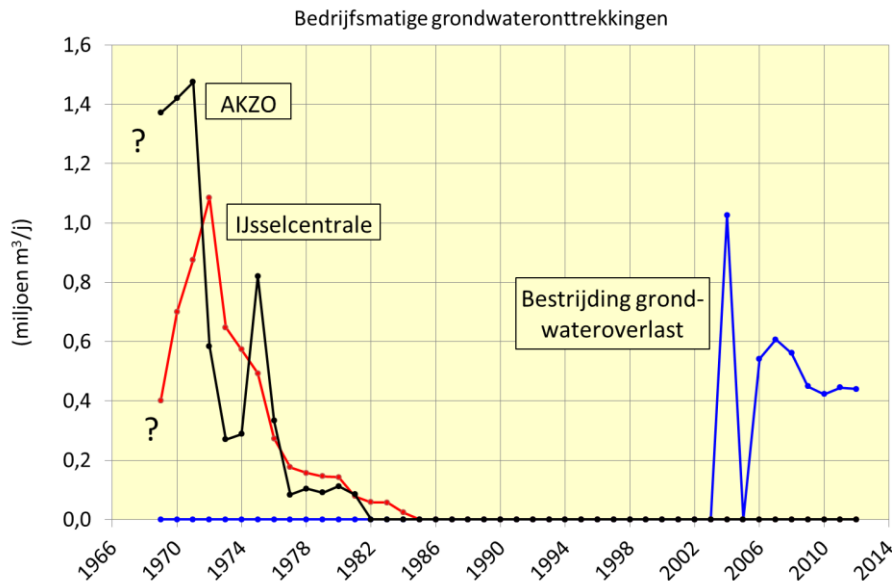


6.3 Relevante andere grondwateronttrekkingen

Gelet op hun onttrekkingsgroottes en hun afstanden tot de in deze studie beschouwde peilbuizen zijn andere relevante grondwateronttrekkingen in de omgeving die van AKZO, de IJsselcentrale en van de bestrijding grondwateroverlast. De vergunningendatabase van de Provincie bevat van AKZO en de IJsselcentrale de onttrekkingscijfers vanaf 1969 op jaarbasis en van de bestrijding grondwateroverlast – die is gestart in januari 2004 - op maandbasis (zie figuur 6.4).

De winning van AKZO bedroeg over de periode vanaf 1969 maximaal 1,5 miljoen m³ per jaar (in 1971) en is daarna – met onderbrekingen - in enkele stappen sterk afgenomen. Deze winning is gestopt in 1981. De winning van de IJsselcentrale bedroeg 1,1 miljoen m³ per jaar (in 1972) en is daarna sterk gedaald, om vervolgens te stoppen in 1984. De grondwateronttrekking voor grondwateroverlastbestrijding is gestart in 2004 en was toen direct maximaal, op 1 miljoen m³/jaar. In 2005 stond de winning stil en van 2006 t/m 2012 schommelde deze tussen 0,4 en 0,6 miljoen m³/jaar.

Figuur 6.4: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op maandbasis van AKZO, de IJsselcentrale en van de bestrijding grondwateroverlast.



6.4 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 240 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 178 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Hasselo. De vroegste reeksstart is in juni 1951 en de laatste in september 2012, terwijl het vroegste reekseind in augustus 1983 is en het laatste in april 2014. De kortste reeks omvat 10 dagen en de langste 62 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 4,8 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op maandbasis, omdat het patroon van de winning Hasselo op maandbasis voldoende onderscheidend is van het patroon van het potentieel neerslagoverschot. Over de periode januari 1980 t/m december 2012 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden namelijk slechts -0,03.

Als modelperiodevenster is de periode 1983 t/m 2000 genomen. Deze periode omvat een duidelijke sprong van de jaarlijkse winning (circa 0,33 miljoen m³ in 1990, zie figuur 6.2), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodelleringen zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1983;
2. het reekseind is niet eerder dan 2000;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 6 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Hasselo (inclusief de schermput);
4. de dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is Hasselo;
5. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning;
6. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op maandbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winning Hasselo en het potentieel neerslagoverschot. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 is voor een zevental grondwaterstandreeksen ook één van de drie in § 6.3 beschreven grondwateronttrekkingen meegenomen als invoerreeks. Van deze blijkt de onttrekking van de IJsselcentrale zowel verstrengeld met de winning Hasselo als met de onttrekking van AKZO (met deze laatste zelfs zeer sterk, zie figuur 6.5). Maar het resultaat van het betreffende model voldeed niet aan de hierna vermelde criteria, zodat het niet is meegenomen.

Figuur 6.5: Correlatiematrix van de invoerreeksen op maandbasis, over de periode 1980 t/m 2012.

	PNO	Hasselo	Bestrijd	IJsselc	AKZO
PNO	1,00				
Hasselo	-0,03	1,00			
Bestrijd	-0,04	-0,09	1,00		
IJsselcen	0,00	-0,35	-0,19	1,00	
AKZO	0,02	-0,25	-0,13	0,87	1,00

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

7. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de maanden zonder waarde en er zijn niet meer dan 24 opeenvolgende maanden zonder waarde;
8. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
9. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van twee tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria).

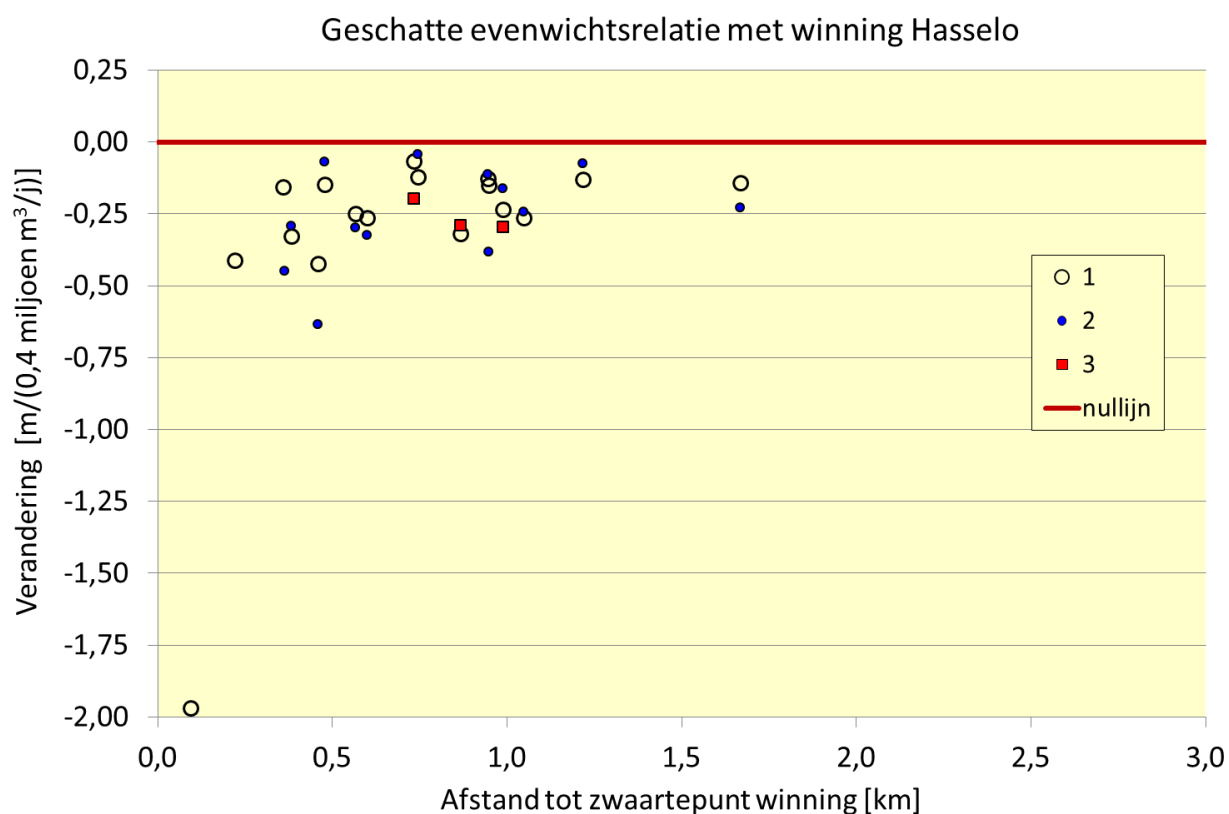
6.5 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 35 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 18 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Hasselo, met als eenheid $\text{m}/(1.000 \text{ m}^3/\text{d})$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $\text{m}/(0,4 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Hasselo over het bereik van de modelperioden, dat loopt van 1980 t/m 2012. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van $0,5 \text{ miljoen m}^3/\text{j}$ naar $0,9 \text{ miljoen m}^3/\text{j}$. Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 6.1 en ook weergegeven in figuur 6.6, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze weergegeven in de kaarten 6.1 (filter 1) en 6.2 (filter 2 en filter 3).

Figuur 6.6: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Hasselo, bij een stationaire winning van 0,4 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Er is hier alleen onderscheid gemaakt naar filternummer (1, 2 of 3).



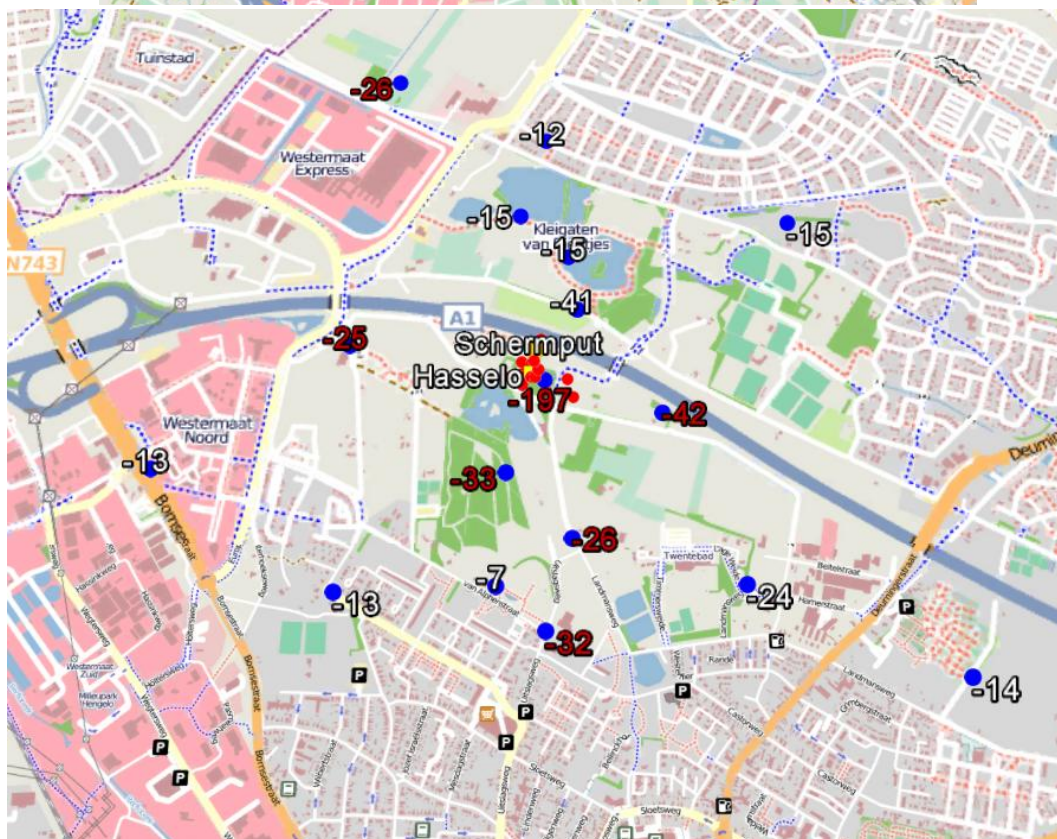
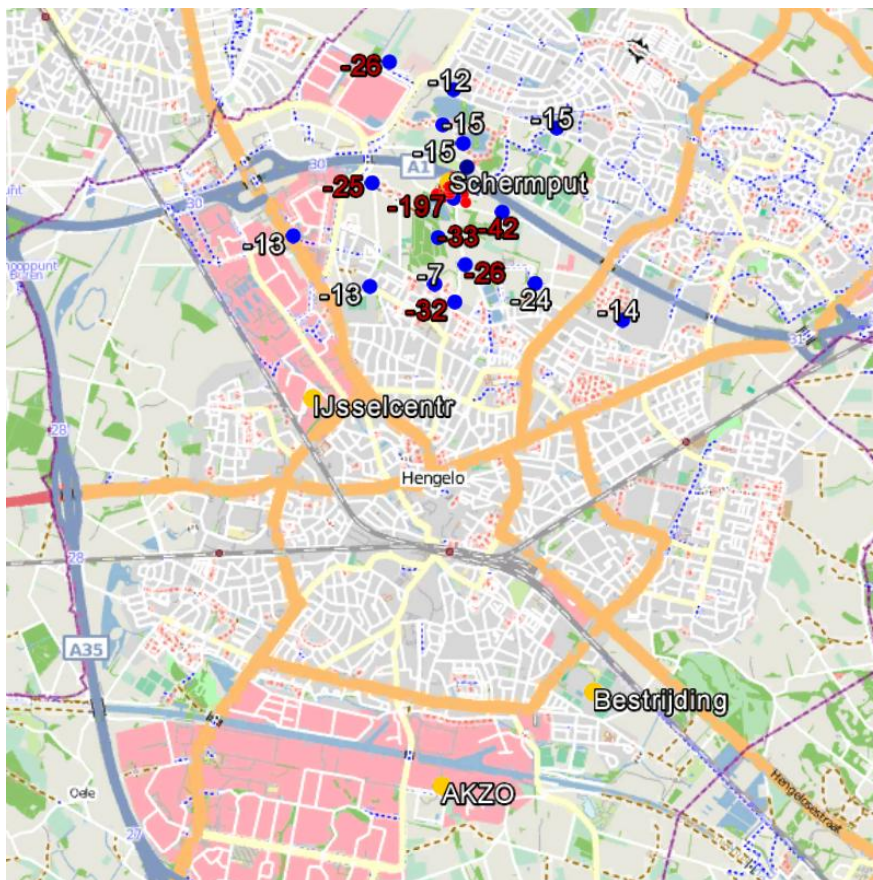
Tabel 6.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Hasselo, bij een stationaire winning van 0,4 miljoen m³/j. Er is hier onderscheid gemaakt naar filter (1, 2 of 3).

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Filter 1		Filter 2		Filter 3	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(0,4 miljoen m³/j)					
28HP0067	1	251.006	478.480	94	-1,97	0,41				
28HP0453	1	251.104	478.716	220	-0,41	0,37				
28HP0452	1	251.071	478.895	359	-0,15	0,12				
28HP0063	2	250.626	478.715	362			-0,45	0,14		
28HP0447	1	250.895	478.178	382	-0,33	0,13				
28HP0447	2	250.895	478.178	382			-0,29	0,12		
28HP0448	1	251.377	478.381	460	-0,42	0,21				
28HP0448	2	251.377	478.381	460			-0,63	0,20		
28HP0065	1	250.914	479.032	478	-0,15	0,13				
28HP0065	2	250.914	479.032	478			-0,07	0,10		
28HP0446	1	250.387	478.582	565	-0,25	0,10				
28HP0446	2	250.387	478.582	565			-0,30	0,12		
28HP0451	1	251.105	477.977	599	-0,26	0,11				
28HP0451	2	251.105	477.977	599			-0,33	0,13		
28HP0459	1	250.876	477.826	734	-0,07	0,16				
28HP0459	2	250.876	477.826	734			-0,20	0,19		
28HP0459	3	250.876	477.826	734					-0,20	0,17
28HP0443	1	250.990	479.300	745	-0,12	0,16				
28HP0443	2	250.990	479.300	745			-0,04	0,11		
28HP0458	1	251.031	477.693	866	-0,32	0,07				
28HP0458	2	251.031	477.693	866			-0,29	0,09		
28HP0458	3	251.031	477.693	866					-0,29	0,09
28HP0450	1	250.385	477.799	946	-0,13	0,12				
28HP0450	2	250.385	477.799	946			-0,11	0,15		
28HP0444	1	251.776	479.025	949	-0,15	0,17				
28HP0444	2	251.776	479.025	949			-0,38	0,19		
28HP0457	1	251.637	477.846	987	-0,24	0,15				
28HP0457	2	251.637	477.846	987			-0,16	0,15		
28HP0457	3	251.637	477.846	987					-0,30	0,15
28HP0442	1	250.500	479.500	1.047	-0,26	0,13				
28HP0442	2	250.500	479.500	1.047			-0,24	0,14		
28GP0280	1	249.797	478.170	1.218	-0,13	0,10				
28GP0280	2	249.797	478.170	1.218			-0,08	0,11		
28HP0454	1	252.305	477.581	1.668	-0,14	0,09				
28HP0454	2	252.305	477.581	1.668			-0,23	0,12		

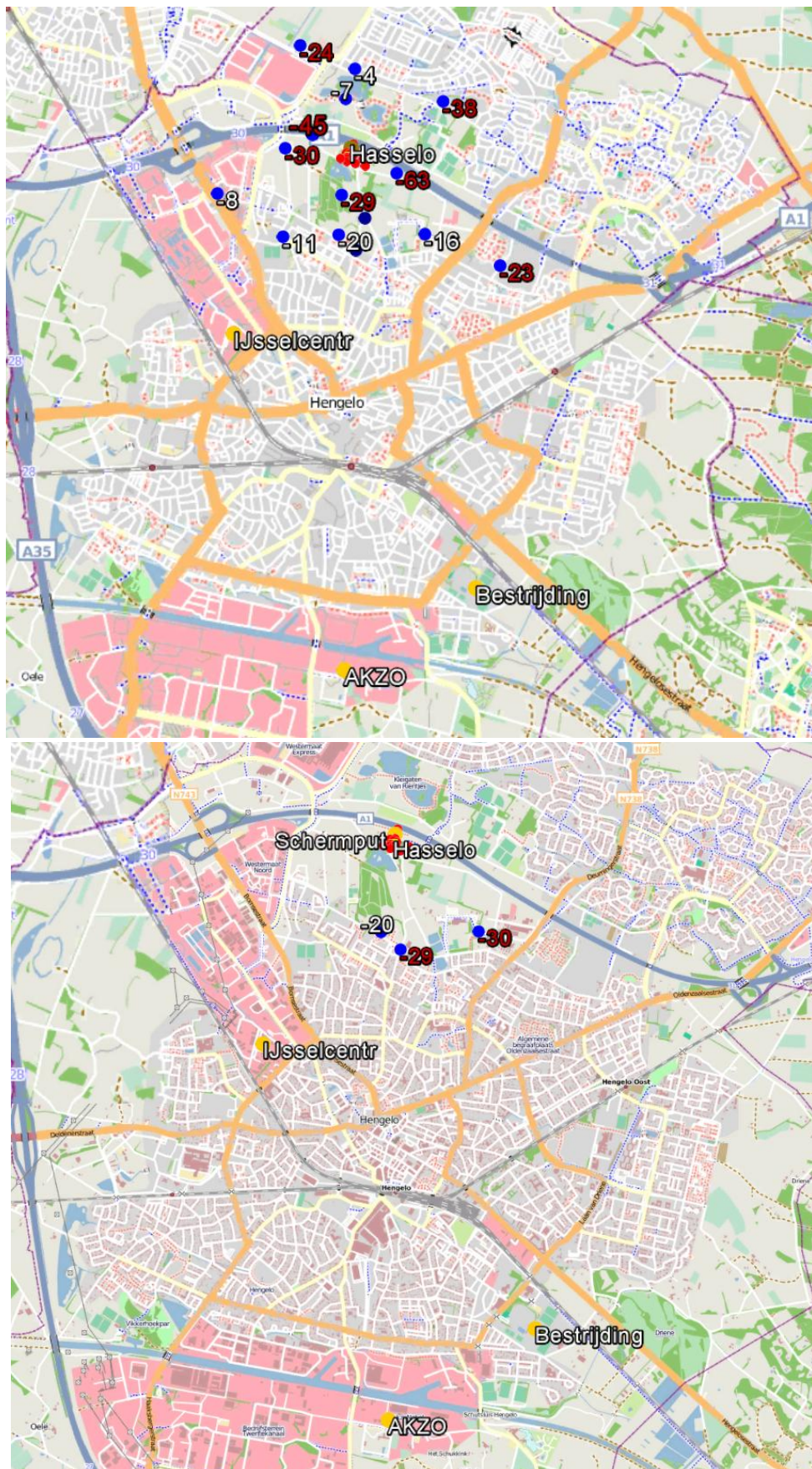
Toelichting

-0,23	statistisch significant negatief
28HP0067	peilbuis binnen 100 meter van een pompput

Kaart 6.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand van filter 1 met de winning Hasselo, in cm/(0,4 miljoen m³/j). De onderste kaart is een uitvergroting van de directe omgeving van de winplaats. Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 6.2: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Hasselo, in cm/(0,4 miljoen m³/j). Boven: filter 2. Onder: filter 3. Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 6.1, figuur 6.6 en de kaarten 6.1 en 6.2 zijn de volgende.

- Van de 35 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Hasselo zijn er 18 statistisch significant, alle negatief. Daarvan zijn er 7 van grondwaterstandreeksen uit filter 1, 9 uit filter 2 en 2 uit filter 3.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-1,97 \text{ m}/(0,4 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, voor een peilfilter op 94 meter van het zwaartepunt van de winning. Deze peilbuis bevindt zich op slechts 15 meter van een pompput.
- Het totaalbeeld is dat van een zeer diffuse verlagingskegel.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $0,4 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk circa 2 km uit.

7 Herikerberg

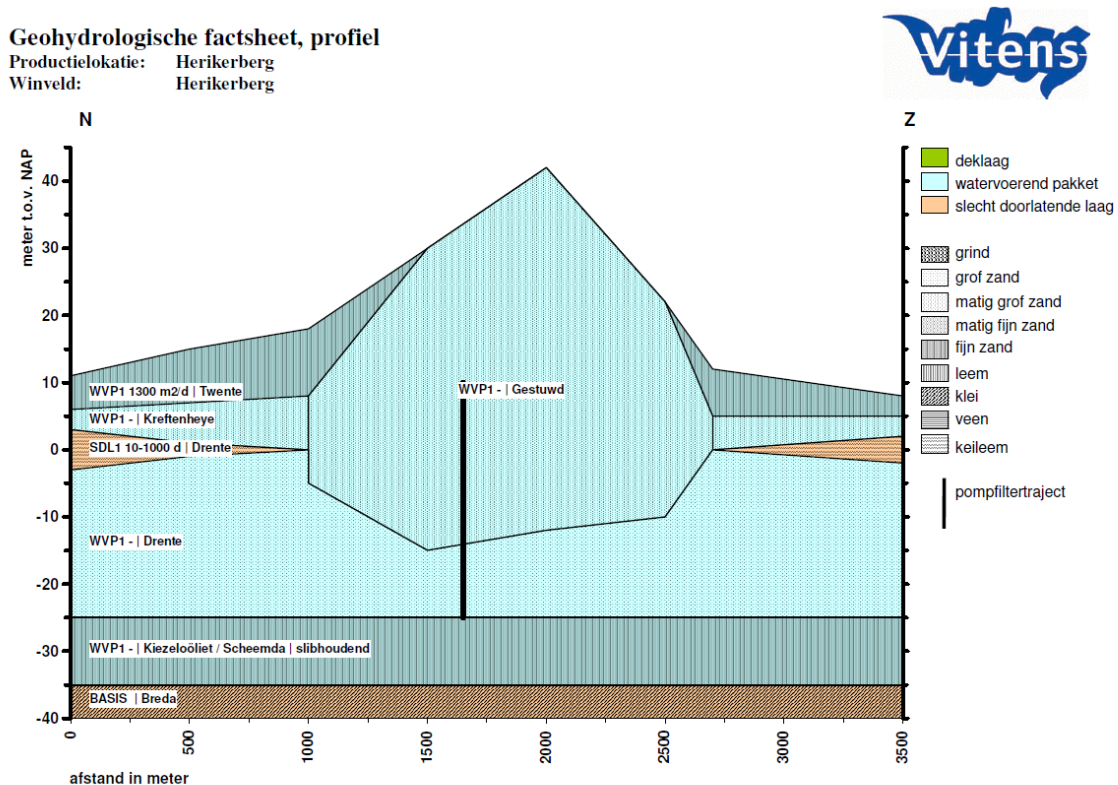
7.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2009] en factsheet Vitens.

De winning Herikerberg ligt in de bossen tussen Markelo en Goor en onttrekt sinds 1959 grondwater aan het 1^e watervoerende pakket. Aangezien dat pakket niet wordt afgesloten door een slecht doorlatende laag betreft het een freatische winning. De pompfilters bevinden zich op 20 tot 55 meter beneden maaiveld, dat zich op circa 30 meter boven NAP bevindt (figuur 7.1).

Het winpakket bestaat uit gestuwde matig grove zanden en uit grove zanden uit de Formatie van Drente. De gestuwde zanden vormen de Herikerberg. Aan de noord- en zuidkant van deze gestuwde zanden bevindt zich op 10 tot 15 meter onder maaiveld een slecht doorlatende keileemlaag uit de Formatie van Drente. De Herikerberg is aan de flanken afgedekt met fijne zanden uit de formatie van Twente. Onder het winpakket bevinden zich fijne, slibhoudende zanden uit de Formatie van Kiezeloöliet en Scheemda. Alle zanden bij elkaar vormen het 1^e watervoerende pakket, dat rust op een basis van Bredaklei.

Figuur 7.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Herikerberg. Bron: factsheet Vitens.

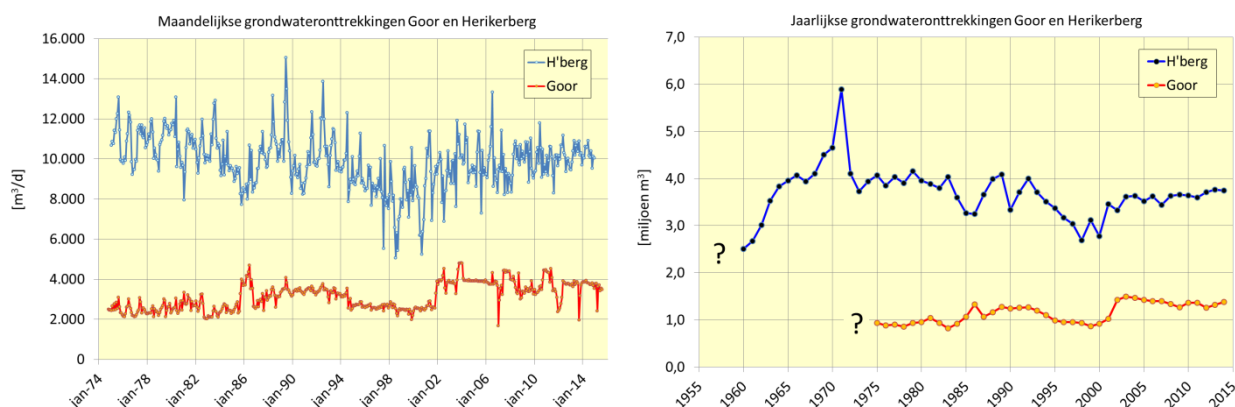


7.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Herikerberg is gestart in 1959 en het vergunningsdebiet bedraagt 4 miljoen m^3/jaar . De winning omvat 27 pompputten, waarvan er momenteel 19 operationeel zijn.

Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1975 en op jaarbasis vanaf 1960. Het verloop van de onttrekking is weergegeven in figuur 7.2, op maandbasis en op jaarbasis. Daarbij is tevens het verloop weergegeven van de onttrekking Goor (zie ook hoofdstuk 5), aangezien die winning zich op slechts 2 km bevindt en daarom ook als mogelijke invloedsfactor dient te worden verdisconteerd bij de statistische modellering van de grondwaterstandreeksen in de omgeving.

Figuur 7.2: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaatsen Herikerberg en Goor, op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts).

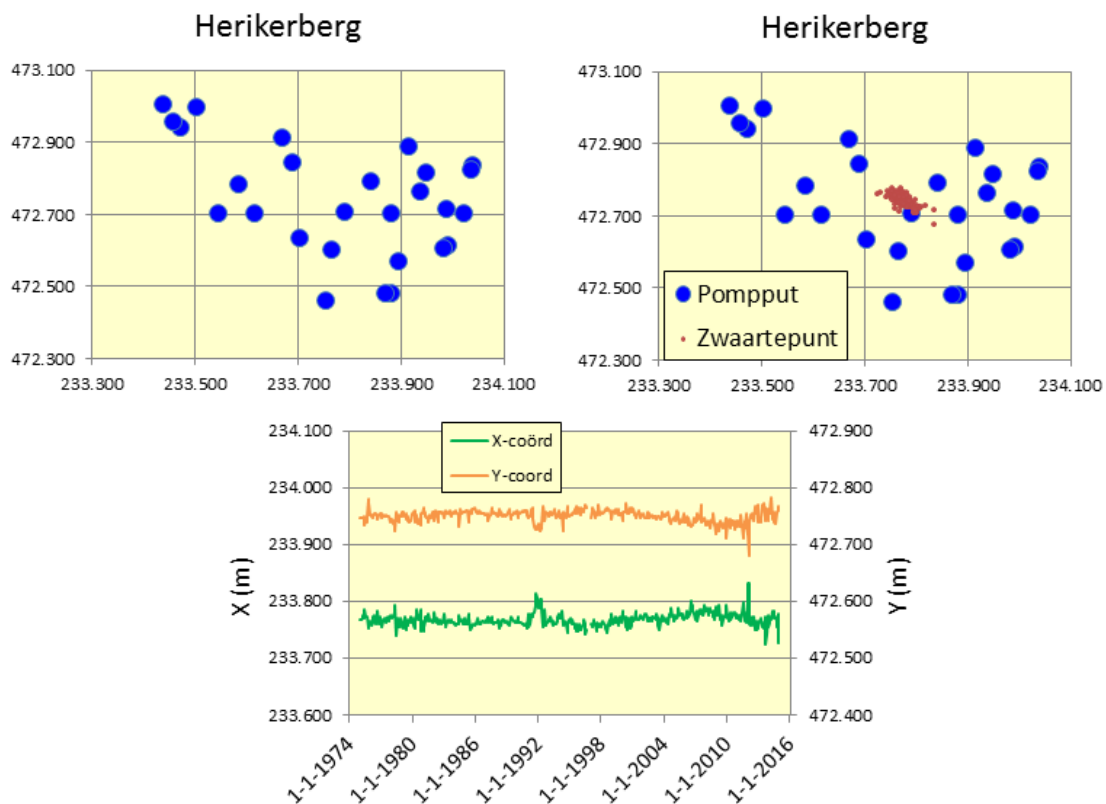


In 1960 bedroeg de winning Herikerberg 2,5 miljoen m^3/jaar . Daarna nam deze in fasen toe, eerst tot 4,1 miljoen m^3/jaar in 1966 en vervolgens tot 5,9 miljoen m^3/jaar in 1971. Direct daarna daalde de winning weer tot 4,1 miljoen m^3/jaar in 1972. Vanaf 1972 bewoog de winning in het interval 2,7 tot 4,2 miljoen m^3/jaar . Van 2003 t/m 2014 was de winning vrij stabiel tussen 3,4 en 3,8 miljoen m^3/jaar .

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning is op maandbasis weergegeven in figuur 7.3, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt.

De ruimtelijke spreiding van de pompputten bedraagt 600 meter in de X-richting en 540 meter in de Y-richting. Er is daarmee geen sprake van een geconcentreerde winning, maar van een groot onttrekkingsvlak. Van de peilfilters met modelresultaten is er geen die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevindt (zie § 7.5).

Figuur 7.3: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Herikerberg. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode januari 1975 t/m december 2014. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in de periode januari 1975 t/m december 2014.



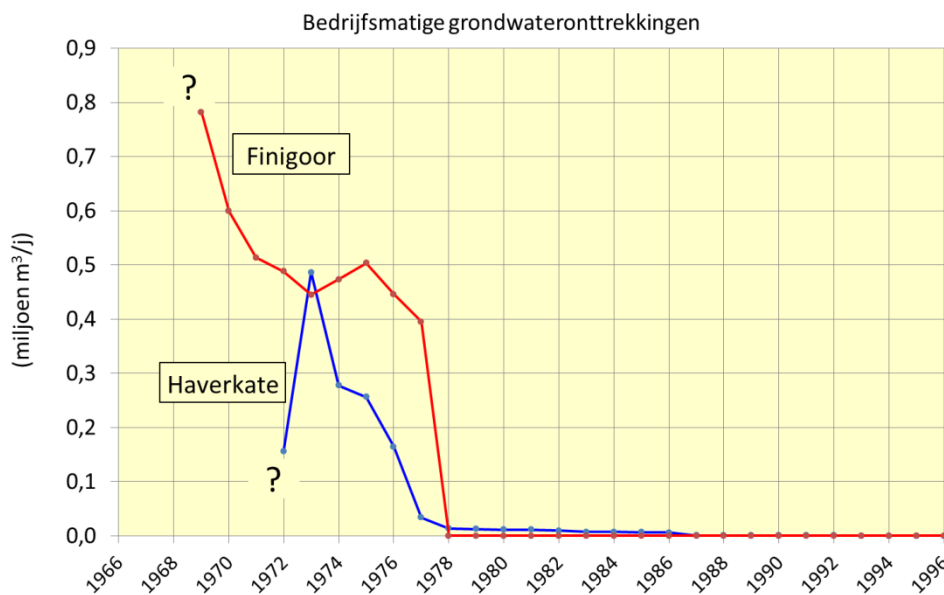
Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode niet veel verplaatst, namelijk 110 meter in de X-richting en 100 meter in de Y-richting.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 233.767 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 472.752 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

7.3 Relevante andere grondwateronttrekkingen

Gelet op hun onttrekkingsgroottes en hun afstanden tot de in deze studie beschouwde peilbuizen zijn andere relevante grondwateronttrekkingen in de omgeving die van de bedrijven J.W. Haverkate BV en Finigoor BV. De vergunningendatabase van de Provincie bevat van beide de onttrekkingscijfers op jaarbasis, van Haverkate vanaf 1972 en van Finigoor vanaf 1969 (zie figuur 7.4).

Figuur 7.4: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op jaarbasis van de bedrijfsmatige winningen van J.W. Haverkate BV en Finigoor BV.



De winning Haverkate bedroeg over de periode vanaf 1972 maximaal 0,49 miljoen m³ per jaar (in 1973) en is daarna in enkele stappen sterk afgenomen tot 0,03 miljoen m³ in 1977. Deze winning is gestopt 1 mei 1993. De winning Finigoor bedroeg in 1969 nog 0,78 miljoen m³ per jaar, maar is daarna met korte onderbrekingen sterk gedaald. De winning is gestopt in 1977.

7.4 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 169 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 114 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Herikerberg. De vroegste reeksstart is in december 1942 en de laatste in juni 2012, terwijl het vroegste reekseind in april 1968 is en het laatste in januari 2014. De kortste reeks omvat 1,1 jaar en de langste 70,6 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 32,9 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op jaarbasis. Een belangrijke reden is dat in deze stuwwalomgeving vaak sprake is van een dikke onverzadigde zone en daarmee van een zeer lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot. Dergelijke sterk uitgesmeerde relaties laten zich doorgaans beter modelleren op jaarbasis. Verder is het patroon van de winning Herikerberg op maandbasis weinig onderscheidend van het patroon van het potentieel neerslagoverschot. Over de periode januari 1975 t/m december 2014 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden namelijk -0,38.

Als modelperiodevenster is de periode 1978 t/m 2000 genomen. Deze periode omvat namelijk een grote verandering van de jaarlijkse winning (circa 1,5 miljoen m³), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodelleringen zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1978;
2. het reekseind is niet eerder dan 2000;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 5 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Herikerberg;
4. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning dan Herikerberg of Goor;
5. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op jaarbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winningen Herikerberg, Goor en het potentieel neerslagoverschot. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 is voor een zestal grondwaterstandreeksen ook de grondwateronttrekking van Finigoor BV meegenomen als invoerreeks. Deze blijkt echter relevant verstrengeld met de andere invoerreeksen, zoals te zien in de correlatiematrix van figuur 7.5.¹⁰

Figuur 7.5: Correlatiematrix van de invoerreeksen op jaarbasis, over de periode 1975 t/m 2013.

	PNO	Goor	Herikerb	Finig
PNO	1,00			
Goor	-0,17	1,00		
Herikerb	-0,32	0,01	1,00	
Finig	-0,36	-0,32	0,32	1,00

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

6. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de jaren zonder waarde en er zijn niet meer dan 2 opeenvolgende jaren zonder waarde;
7. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
8. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van zes tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria). Het betreft de zes modellen waar de winning Finigoor als één van de invoerreeksen meedeed. De pasvorm van die modellen bleek namelijk sterk onvoldoende over het deel van de modelperiode waarin de winning Finigoor nog actief was (dit is tot 1978). De lokaal slechte pasvorm komt vermoedelijk door de relevante verstrengeling van de winning Finigoor met de andere drie invoerreeksen (zie figuur 7.5) en/of door het zeer korte deel

¹⁰ We kunnen twee invoerreeksen verstrengeld noemen als hun absolute correlatiecoëfficiënt groter is dan 0,3. Het is dan bij de tijdreeksmodellering vaak niet meer mogelijk om de statistische relaties van deze reeksen met de grondwaterstand onafhankelijk van elkaar te schatten.

van de modelperiode waarover die winning actief is, namelijk slechts drie jaar van de 30 à 38 jaar van deze modelperioden. Om de consistentie van de gehanteerde modelperioden (en daarmee de vergelijkbaarheid van de resultaten) te bewaren, is besloten de betreffende reeksen niet te hermodelleren over een kortere periode, waarbinnen de winning Finigoor niet meer actief is.

7.5 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 33 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 23 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Herikerberg, met als eenheid $m/(\text{miljoen } m^3/j)$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $m/(1,5 \text{ miljoen } m^3/j)$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Herikerberg over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1975 t/m 2013. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van 2,7 miljoen m^3/j naar 4,2 miljoen m^3/j . Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 7.1 en ook weergegeven in figuur 7.6, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze weergegeven in kaart 7.1.

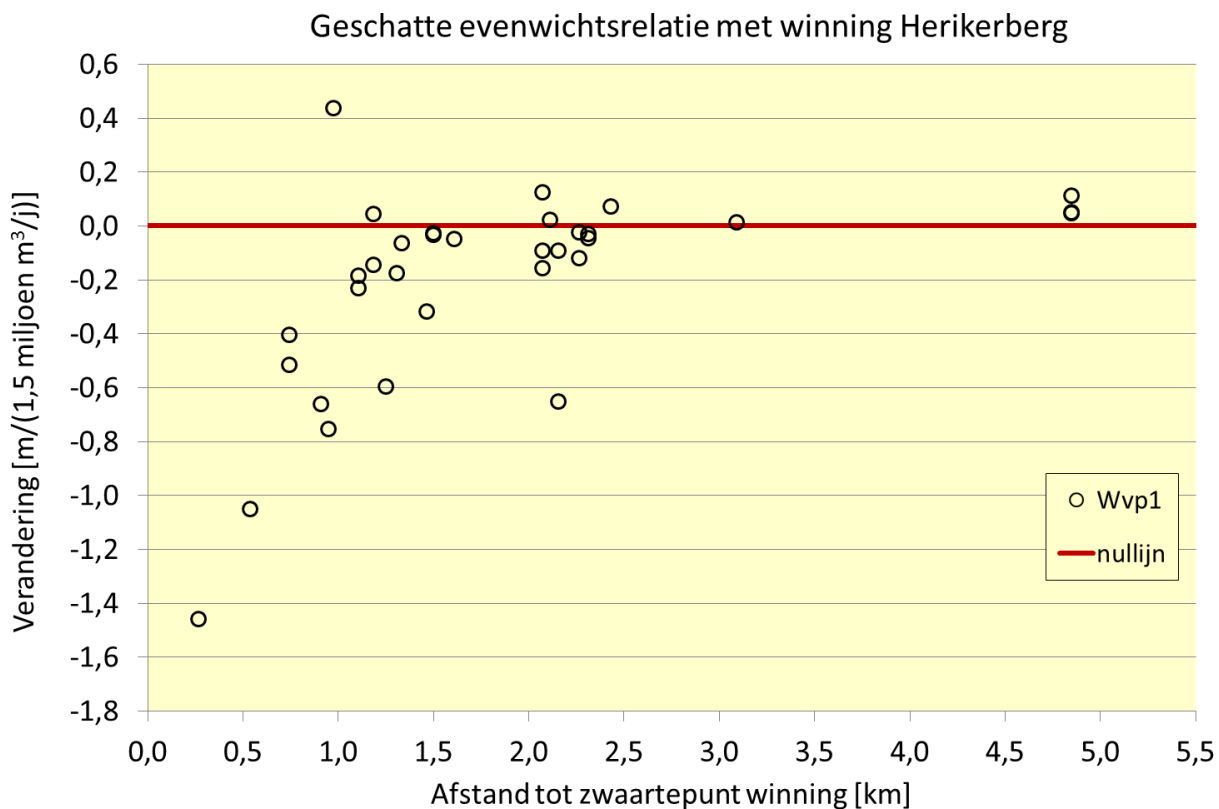
Tabel 7.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Herikerberg, bij een stationaire winning van 1,5 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1	
		X (m)	Y (m)		Evrel m/(1,5 miljoen m ³ /j)	Stft
34BP0112	1	233.625	472.530	264	-1,46	0,32
34BP0170	1	233.250	472.890	533	-1,05	0,30
34BP0027	1	234.346	472.296	739	-0,51	0,18
34BP0027	2	234.346	472.296	739	-0,40	0,24
34BP0159	1	233.372	471.937	906	-0,66	0,24
34BB0012	1	233.659	473.693	946	-0,75	0,55
34BP0057	1	234.729	472.876	972	0,44	0,29
34BP0160	1	233.401	471.709	1.105	-0,23	0,17
34BP0160	2	233.401	471.709	1.105	-0,18	0,16
34BP0206	1	234.736	473.422	1.180	0,05	0,16
34BP0206	2	234.736	473.422	1.180	-0,14	0,13
34BP0054	1	233.497	473.973	1.250	-0,60	0,22
34BP0031	1	233.340	471.520	1.304	-0,17	0,15
34BP0049	1	234.332	471.548	1.332	-0,06	0,10
34BP0010	1	232.309	472.606	1.463	-0,32	0,26
34BP0205	1	234.340	474.135	1.497	-0,03	0,10
34BP0205	2	234.340	474.135	1.497	-0,03	0,10
34BP0050	1	234.578	471.366	1.607	-0,05	0,04
34BP0158	1	231.703	472.577	2.069	-0,09	0,23
34BP0213	1	235.774	472.256	2.069	-0,15	0,08
34BP0213	2	235.774	472.256	2.069	0,12	0,20
34BP0059	1	232.966	470.799	2.111	0,02	0,09
34BP0214	1	235.804	472.067	2.151	-0,09	0,07
34BP0214	2	235.804	472.067	2.151	-0,65	0,29
34BP0212	1	232.119	471.203	2.261	-0,12	0,20
34BP0212	2	232.119	471.203	2.261	-0,02	0,17
34BP0211	1	231.804	473.971	2.309	-0,04	0,21
34BP0211	2	231.804	473.971	2.309	-0,03	0,18
34BP0060	1	233.204	470.390	2.428	0,07	0,04
34BP0061	1	233.110	469.735	3.088	0,01	0,03
34BP0194	1	232.110	468.200	4.844	0,11	0,02
34BP0194	2	232.110	468.200	4.844	0,05	0,03
34BP0194	3	232.110	468.200	4.844	0,05	0,03

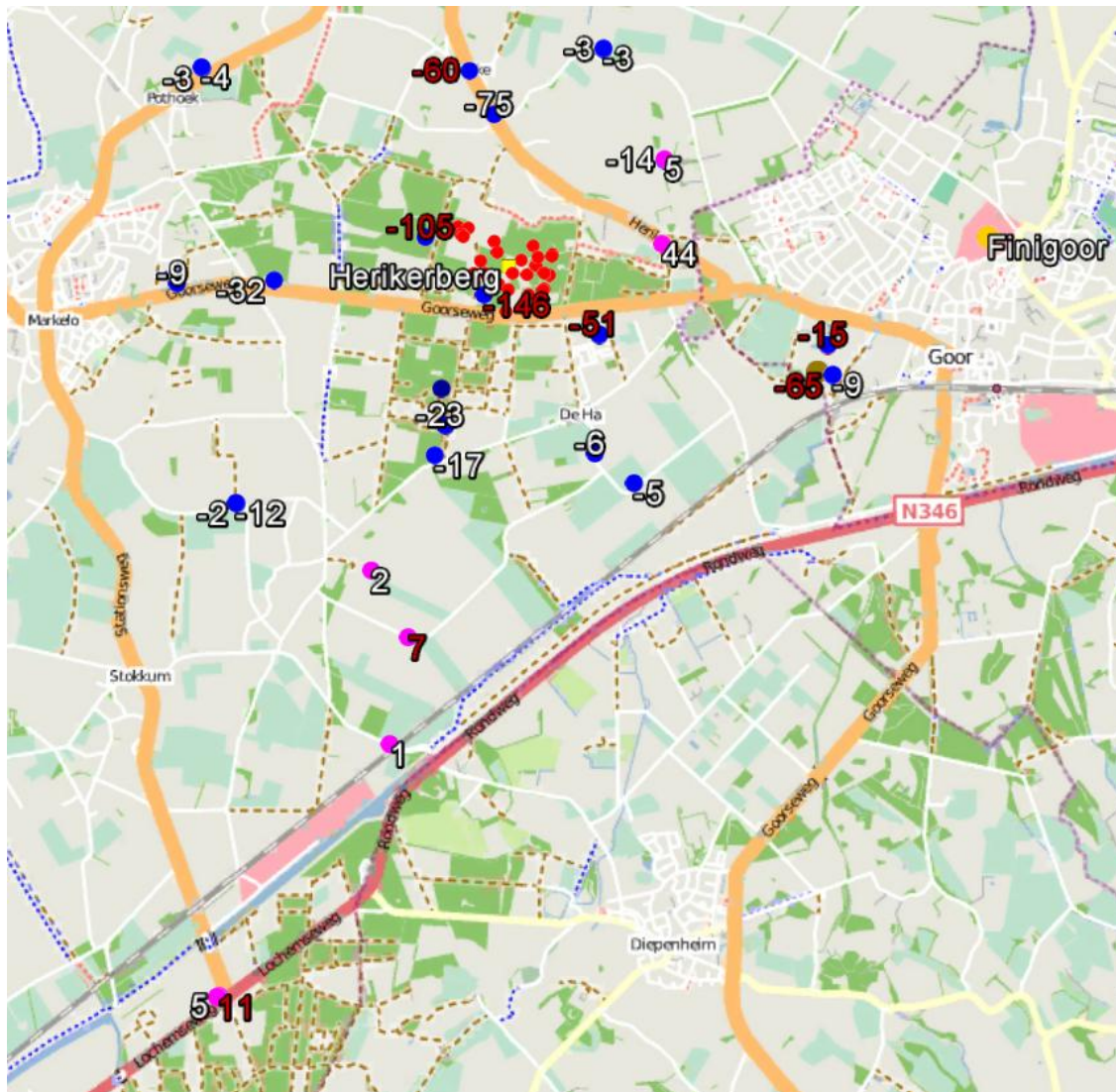
Toelichting

-0,23	statistisch significant negatief
0,10	statistisch significant positief (fysisch onlogisch)

Figuur 7.6: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Herikerberg, bij een stationaire winning van 1,5 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



Kaart 7.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1 met de winning Herikerberg, in $\text{cm}/(1,5 \text{ miljoen } \text{m}^3/\text{j})$. Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 7.1, figuur 7.6 en kaart 7.1 zijn de volgende.

- Van de 33 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Herikerberg zijn er 10 statistisch significant, waarvan 8 negatief.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-1,46 \text{ m}/(1,5 \text{ miljoen } \text{m}^3/\text{jaar})$, in een peilbuis op 264 meter van het zwaartepunt van de winning. Deze peilbuis bevindt zich op 132 meter van de dichtstbijzijnde pompput.
- Het totaalbeeld is dat van een enigszins diffuse verlagingskegel.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $1,5 \text{ miljoen } \text{m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk 2,5 km of meer uit.

8 Nijverdal

8.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2010] en factsheet Vitens.

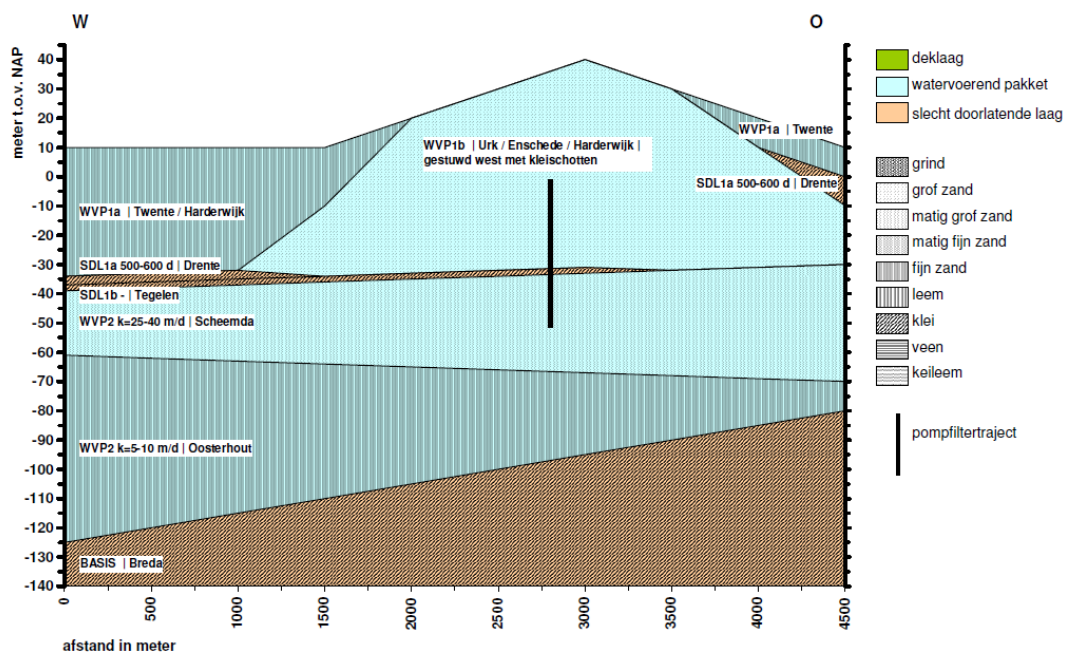
De winning Nijverdal ligt direct ten westen van Nijverdal, op de Sallandse Heuvelrug, een stuwwal die is gevormd door het oprukkende landijs. De woonplaats Nijverdal vormt het zuidelijke deel van de Sallandse gemeente Hellendoorn en de woonplaats Hellendoorn vormt het noordelijke deel daarvan. Deze gemeente telde in 2013 circa 36.000 inwoners. De gemeente wordt doorkruist door de rivier de Regge.

Het is een freatische winning, die sinds 1954 grondwater onttrekt uit zowel het 1^e als het 2^e watervoerende pakket (figuur 8.1). De pompfilters bevinden zich op 30 – 85 meter beneden het maaiveld, dat zich op circa 34 meter NAP bevindt.

Figuur 8.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Nijverdal. Bron: factsheet Vitens.

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Nijverdal
Winveld: Nijverdal



Het 1^e watervoerende pakket bestaat uit een grofzandige laag uit de Formaties van Urk, Enschede en Harderwijk en het 2^e watervoerende pakket bestaat uit een matig grofzandige laag uit de Formatie van Scheemda. De basis van het 1^e watervoerende pakket wordt hier gevormd door de top van een laag bestaande uit Tegelen-klei en Drenthe-klei. De dikte van de scheidende laag tussen het 1^e en 2^e watervoerende pakket - en daarmee de weerstand tegen verticale grondwaterstroming - neemt in westelijke richting toe. Ten oosten van de winplaats wordt de Tegelen-klei geleidelijk dunner en ten oosten van de Regge komt deze afzetting niet meer voor. De basis van het 2^e

watervoerende pakket ligt in het oosten op een diepte van 70 meter onder NAP en in het westen op een diepte van 130 meter onder NAP. Plaatselijk kan in de stuwwal het doorlatend vermogen zijn gereduceerd door scheefgestelde kleilagen, die dan zorgen voor sprongen in de grondwaterspiegel.

Het vigerend intrekgebied bestaat voornamelijk uit natuurgebied, met daarnaast in het noordoosten een deel van het stedelijk gebied van Nijverdal. Binnen het natuurgebied komen de functies bos en droog natuurlijk terrein voor. Voorts komen aan de noordoostelijke rand van het vigerend intrekgebied de functies woongebied, agrarisch gebied, verblijfsrecreatie, sportterrein, bouwterrein, detailhandel en horeca en sociaal-culturele voorzieningen voor. Een deel van het natuurgebied valt binnen het Natura 2000-gebied Sallandse Heuvelrug.

In het oosten bevindt zich het hoogveengebied Wierdense Veld, eveneens een Natura2000-gebied, met net ten oosten daarvan de drinkwaterwinning Wierden. Daar zijn verschillende herstelmaatregelen uitgevoerd om de ontwatering te verminderen (zie hoofdstuk 9).

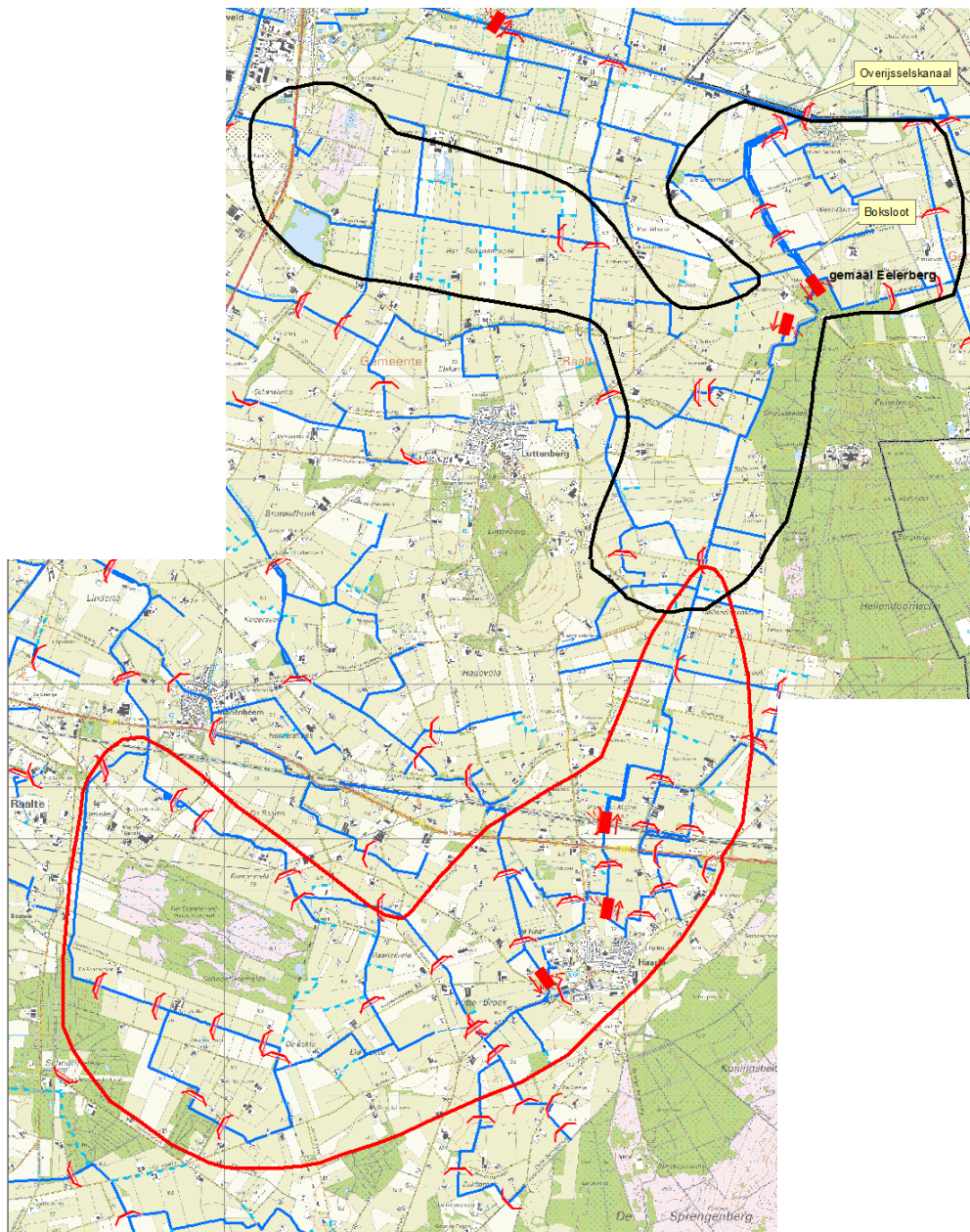
Uit de bodemkaart van Nederland blijkt dat dat er in het gebied vooral zandige gronden aanwezig zijn, bestaande uit beekeerdgronden en veldpodzolgronden. Ten oosten van de Regge is een dunne deklaag aanwezig die bestaat uit holocene afzettingen die oorspronkelijk bestonden uit veen. Maar door menselijke invloeden in het gebied is er nu sprake van een veraarde bovengrond met veen op zand.

[Waterhuishoudkundige maatregelen](#)

De winning Nijverdal heeft invloed op het Natura 2000-gebied Sallandse Heuvelrug en het aangrenzende landbouwgebied. In het landbouwgebied is het wateraanvoerplan Luttenberg opgesteld, dat ondermeer dient om de invloed van de winning te compenseren. Het oppervlaktewater dat met dit plan wordt aangevoerd stroomt niet naar de winputten, omdat het aangevoerd wordt in het lage deel ten westen van de heuvelrug.

De realisatie van het wateraanvoerplan heeft plaatsgevonden in twee fasen. De eerste fase is in 1997 afgerond en de tweede in 2003. In figuur 8.2 zijn de globale contouren van deze fasen weergegeven. Binnen de fasering worden de belangrijkste hoofdwatertangen (donkerblauw) voorzien van water. De zijwatertangen (donkerblauw en lichtblauw) worden niet tot beperkt gevoed door het aanvoerwater. Het water wordt vanuit het Overijsselskanaal via gemaal Eelerberg (maximale capaciteit van $2 \text{ m}^3/\text{s}$) ingelaten in de Bokslot en wordt vervolgens via opvoergemalen en stuwen in het onderliggende gebied verdeeld.

Figuur 8.2: De globale contouren van wateraanvoerplan Luttenberg, onderscheiden naar fase 1 (zwart, afgerond 1997) en fase 2 (rood, afgerond 2003).



De winning Nijverdal vindt plaats midden op het hoge deel van de heuvelrug. In het Natura 2000-gebied hebben twee kleine gebiedjes een natte natuurdoelstelling. Daarnaast is voor een groter gebied aan de westkant de uitbreidingsdoelstelling voor natte heide aangegeven. Ter plaatse van de twee kleine gebiedjes is sprake van een schijnwaterspiegel. Dit houdt in dat grondwater wordt vastgehouden boven een slecht doorlatende laag, terwijl de grondwaterstand onder de slecht doorlatende laag kan dalen. De winning heeft geen invloed op deze kleine gebiedjes.

In de directe omgeving van de rivier de Regge worden de Reggeherstelmaatregelen uitgevoerd door het waterschap Vechtstromen (zie figuur 8.3).

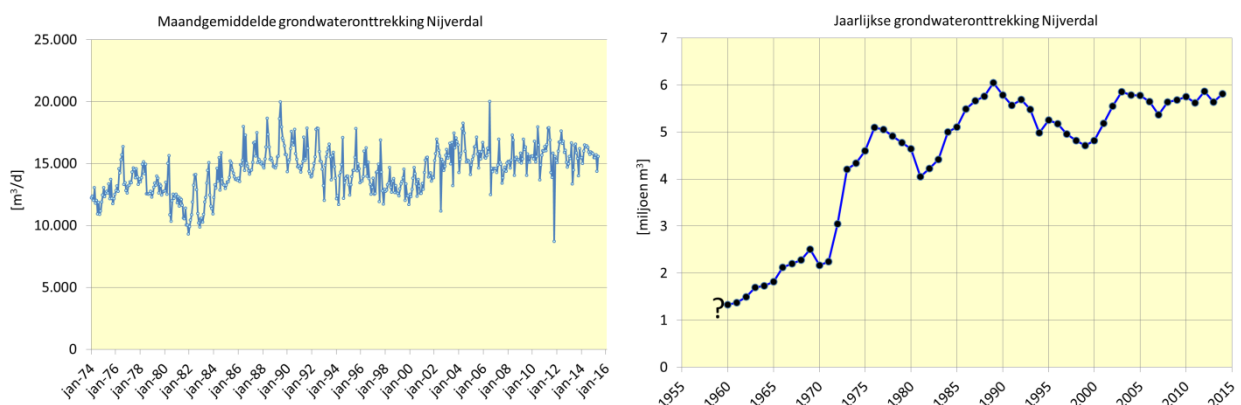
Figuur 8.3: De locaties van de Reggeherstelprojecten tussen de stuwen Notter en Overwater (deze stuwen blijven intact).



8.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Nijverdal is gestart in 1954 en het vergunningsdebiet bedraagt 6 miljoen m³/jaar. De winning omvat 26 pompputten, waarvan er momenteel 20 operationeel zijn. Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1974 en op jaarbasis vanaf 1960. Het verloop van de onttrekking is weergegeven in figuur 8.4, op maandbasis en op jaarbasis.

Figuur 8.4: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaats Nijverdal, op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts).

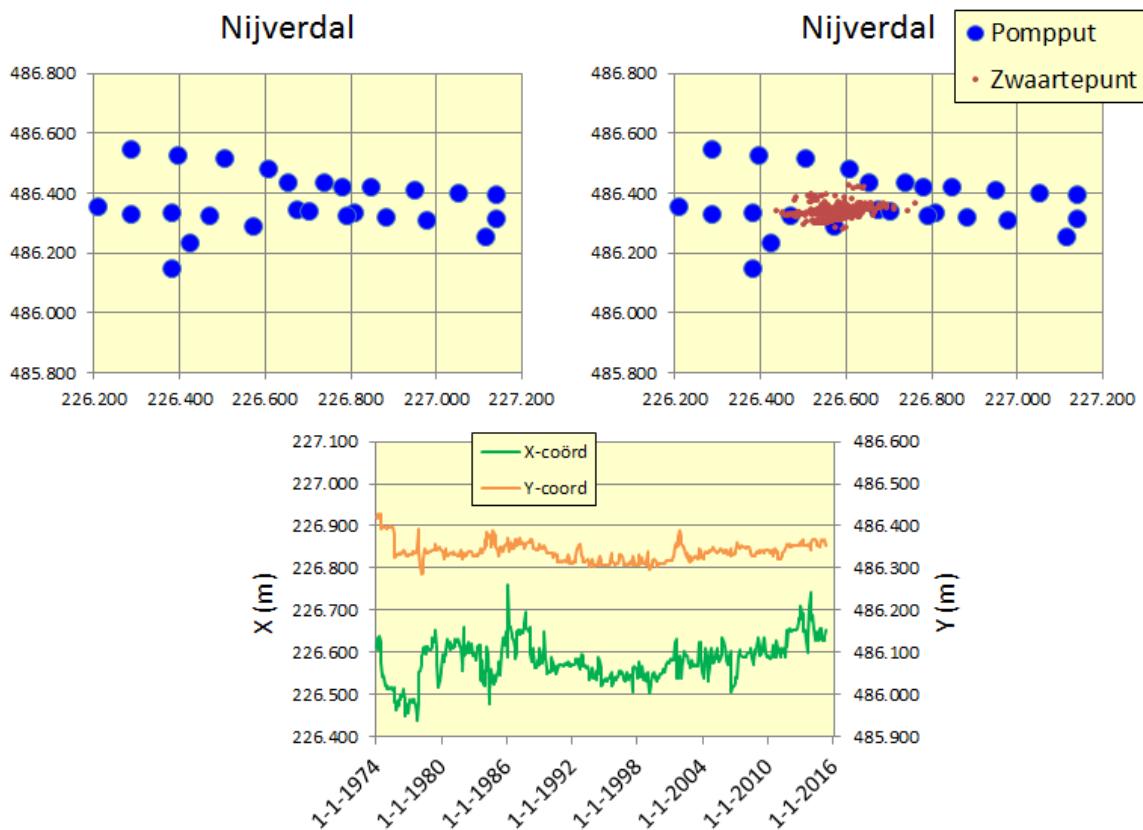


In 1960 bedroeg de winning 1,3 miljoen m³/jaar. Daarna nam deze in fasen toe, slechts onderbroken door korte dalingen. Eerst was er een toename tot 2,5 miljoen m³/jaar in 1969, vervolgens tot 5,1 miljoen m³/jaar in 1976 en dan tot 6,1 miljoen m³/jaar in 1989, tot dusverre het maximum. Daarna daalde de winning eerst geleidelijk tot 4,7 miljoen m³/jaar in 1999, om vervolgens weer toe

te nemen tot 5,9 miljoen m³/jaar in 2003. In de recente periode van 2003 t/m 2014 was de winning vrij stabiel tussen 5,9 en 5,4 miljoen m³/jaar.

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning is op maandbasis weergegeven in figuur 8.5, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt.

Figuur 8.5: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Nijverdal. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode januari 1974 t/m mei 2015. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in de periode januari 1974 t/m mei 2015.



De ruimtelijke spreiding van de pompputten is aanzienlijk, namelijk 930 meter in de X-richting en 400 meter in de Y-richting. Er is daarmee geen sprake van een geconcentreerde winning, maar van een groot onttrekkingsvlak. Van de peilfilters met modelresultaten is er echter geen die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevindt (zie § 8.5).

Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode relatief veel verplaatst, namelijk 320 meter in de X-richting en 140 meter in de Y-richting. De verplaatsingen kunnen voor dicht bij de winning gelegen peilfilters hebben geleid tot vertekening van de geschatte evenwichtsrelatie met de winning, aangezien de modellering geen rekening houdt met een invloed van de verplaatsing op de grondwaterstand.

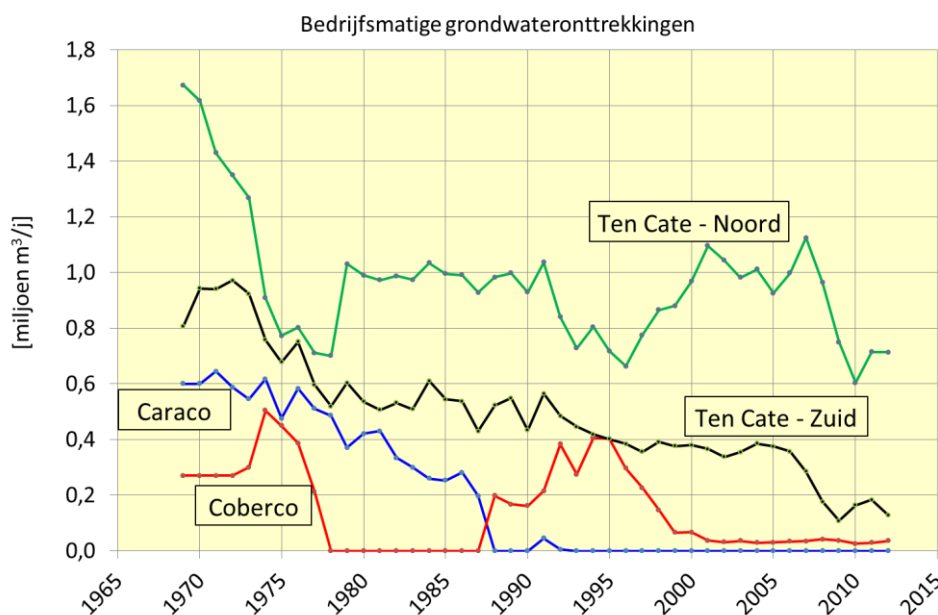
De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 226.578 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 486.337 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane

coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

8.3 Relevante andere grondwateronttrekkingen

Gelet op hun onttrekkingsgroottes en hun afstanden tot de in deze studie beschouwde peilbuizen zijn er vier andere relevante grondwateronttrekkingen in de omgeving, namelijk die van Ten Cate-Noord, Ten Cate-Zuid, Caraco-Iglo en Coberco-Iglo (zie figuur 8.6).

Figuur 8.6: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op jaarbasis van de bedrijfsmatige winningen van Ten Cate-Noord, Ten Cate-Zuid, Caraco-Iglo en Coberco-Iglo.



Grondwaterwinningen Ten Cate

De Nederlandse multinational Ten Cate (textiel, kunstvezels, etc.) beschikt in de gemeente Hellen-doorn over twee grondwaterwinningen die circa 2 kilometer uit elkaar liggen. Ze zijn aangeduid als Ten Cate-Noord en Ten Cate-Zuid. De gegevens van de afzonderlijke winningen zijn bij de Provincie op jaarbasis beschikbaar van 1969 tot en met 1990 en daarna op maandbasis. Vanaf 2006 vallen de twee winningen echter onder dezelfde vergunning en heeft de Provincie alleen nog gegevens over de som van deze winningen. De naar de twee winningen uitgesplitste gegevens vanaf 2006 zijn ons verstrekt door Ten Cate.¹¹

Volgens de Provinciale cijfers zou de winning Ten Cate-Noord hebben stilgelegen van 1979 t/m 1990, maar bij navraag bij Ten Cate blijkt daarvan geen sprake te zijn geweest. De winningscijfers over die periode zijn echter niet meer beschikbaar, zodat wij deze hebben geschat met behulp van een lineair regressiemodel dat de statistische relatie beschrijft tussen deze twee winningen op maandbasis van januari 1991 t/m december 2012. Over die periode bedraagt de correlatiecoëfficiënt tussen deze winningen 0,43.

¹¹ De gegevens en de informatie over deze winningen zijn ons verstrekt door Gerard Scheffer, Arbo en Milieucoördinator van Ten Cate Protect BV.

De winning Ten Cate-Noord bedroeg van 1969 tot 1972 circa 1,5 miljoen m³/jaar, maar schommelde daarna lange tijd rond de 1 miljoen m³/jaar. Door waterbesparende maatregelen bedraagt de winning van 2009 t/m 2012 nog maar circa 0,7 miljoen m³/jaar.

De winning Ten Cate-Zuid bedroeg van 1969 tot 1974 circa 0,9 miljoen m³/jaar en nam daarna langzaam af tot circa 0,4 miljoen m³/jaar in 1995, op welk niveau het ongeveer bleef tot 2007. Ook deze winning is inmiddels gereduceerd door waterbesparende maatregelen. Van 2008 t/m 2012 bedraagt de onttrekking nog maar circa 0,2 miljoen m³/jaar.

Grondwaterwinningen Caraco, Coberco en Iglo

Volgens de Provinciale gegevens is er in de periode vanaf 1969 ook in het noorden van de gemeente Hellendoorn sprake van een tweetal grondwaterwinningen voor industriële doeleinden. De winningslocaties liggen ongeveer 700 meter uit elkaar. De westelijke van de twee betreft de winning van een ijsfabriek, die tot 1996 het ijsmerk Caraco maakte. Het bedrijf werd in 1985 overgenomen door Unilever (Iglo) en produceert de merken Ben & Jerry's, Hertog en Ola.

De oostelijke van de twee betrof aanvankelijk de winning van de zuivelfabriek van Coberco, die eind 1977 is gestopt. Op een zeer nabije locatie (op circa 100 meter afstand) wordt vanaf 1988 grondwater onttrokken door Iglo. Gezien de nabijheid van de twee locaties hebben we de winningen van Coberco en Iglo voor de tijdreeksmodellering samengevoegd tot één winningsreeks.

De gegevens van de afzonderlijke winningen zijn bij de Provincie tot en met 1990 beschikbaar op jaarbasis en daarna grotendeels op maandbasis en gedeeltelijk op kwartaalbasis.

De winning Caraco-Iglo neemt over de beschouwde periode sterk af, namelijk van 0,6 miljoen m³/jaar in 1969 tot 0 in 1988, om vervolgens in 1991 en 1992 nog slechts 0,05 en 0,01 miljoen m³/jaar te onttrekken.

De winning Coberco-Iglo schommelt van 1969 tot 1977 tussen 0,3 en 0,5 miljoen m³/jaar en sluit in 1977 af met 0,2 miljoen m³/jaar. De winning hervat in 1988 en schommelt dan tot 1999 tussen 0,2 en 0,4 miljoen m³/jaar, waarna het niveau terugvalt tot circa 0,03 miljoen m³/jaar.

8.4 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 277 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 144 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Nijverdal. De vroegste reeksstart is in augustus 1949 en de laatste in oktober 2012, terwijl het vroegste reeks-einde in augustus 1967 is en het laatste in april 2014. De kortste reeks omvat 2 maanden en de langste 64,1 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 12,9 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op jaarbasis. Een belangrijke reden is dat in deze stuwwalomgeving vaak sprake is van een dikke onverzadigde zone en daarmee van een zeer lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot. Dergelijke sterk uitgesmeerde relaties laten zich doorgaans beter modelleren op jaarbasis. Verder is het patroon van de winning Nijverdal op maandbasis weinig onderscheidend van het patroon van het potentieel neerslagoverschot. Over de periode januari 1974 t/m mei 2014 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden namelijk -0,38.

Als modelperiodevenster is de periode 1982 t/m 2003 genomen. Deze periode omvat namelijk een grote verandering van de jaarlijkse winning (circa 1,8 miljoen m³), wat het onderscheidend ver-

mogen van de tijdreeksmodelleringen zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1982;
2. het reekseind is niet eerder dan 2003;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 6 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Nijverdal;
4. de dichtstbijzijnde drinkwaterwinning is Nijverdal;
5. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning;
6. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op jaarbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winning Nijverdal en het potentieel neerslagoverschot. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 moet voor dertien grondwaterstandreeksen ook één of meer van de bedrijfsmatige grondwateronttrekkingen worden meegenomen als invoerreeks. De onttrekkingen van Ten Cate-Zuid en Caraco-Iglo zijn echter relevant verstrengeld met de winning Nijverdal (zie figuur 8.9), zodat hun evenwichtsrelaties met de grondwaterstand dan niet onafhankelijk van elkaar kunnen worden geschat. De verstrengeling tussen de onttrekking van Caraco-Iglo en de winning Nijverdal is hierbij dermate groot (correlatiecoëfficiënt van -0,64), dat we de resultaten van de twee tijdreeksmodellen waarbij Caraco-Iglo één van de invoerreeksen is niet meenemen.

Figuur 8.9: Correlatiematrix van de invoerreeksen op jaarbasis, over de periode 1980 t/m 2012.

	PNO	Nijv'dal	Caraco	Coberco	Ten Ct Z	Ten Ct N
PNO	1,00					
Nijv'dal	-0,13	1,00				
Caraco	-0,08	-0,64	1,00			
Coberco	-0,09	0,11	-0,44	1,00		
Ten Cate Z	-0,15	-0,37	0,56	0,14	1,00	
Ten Cate N	-0,01	-0,13	0,33	-0,44	0,49	1,00

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

7. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de jaren zonder waarde en er zijn niet meer dan 2 opeenvolgende jaren zonder waarde;
8. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
9. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van zes tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria).

8.5 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 46 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 20 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Nijverdal, met als eenheid $\text{m}/(\text{miljoen m}^3/\text{j})$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $\text{m}/(2 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Nijverdal over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1980 t/m 2012. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van 4,1 miljoen m^3/j naar 6,1 miljoen m^3/j . Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 8.1 en ook weergegeven in figuur 8.10, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze weergegeven in de kaarten 8.1 (wvp1) en 8.2 (wvp2).

Tabel 8.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Nijverdal, bij een stationaire winning van 2 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1		Wvp2	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(2 miljoen m³/j)			
28CP0198	1	225.929	486.469	662	-0,96	0,57		
28CP0198	2	225.929	486.469	662	-0,56	0,49		
28CP0198	3	225.929	486.469	662	-0,68	0,52		
28CP0198	4	225.929	486.469	662	-0,65	0,50		
28CP0198	5	225.929	486.469	662			-1,15	0,40
28CP0198	6	225.929	486.469	662			-0,80	0,34
28CP0238	1	227.253	486.775	805	-0,64	0,23		
28CP0197	1	227.398	485.958	903	-0,64	0,17		
28CP0197	2	227.398	485.958	903	-0,68	0,32		
28CP0197	3	227.398	485.958	903	-0,68	0,32		
28CP0197	4	227.398	485.958	903			-0,67	0,32
28CP0197	5	227.398	485.958	903			-0,68	0,32
28CP0197	6	227.398	485.958	903			-0,67	0,32
28CP0197	7	227.398	485.958	903			-0,67	0,32
28CP0022	1	227.531	486.117	978	-0,55	0,34		
28CP0203	1	225.689	485.849	1.014	-1,07	0,50		
28CP0203	2	225.689	485.849	1.014	-1,30	0,50		
28CP0204	1	226.894	485.364	1.023	-0,64	0,25		
28CP0204	2	226.894	485.364	1.023	-0,57	0,33		
28AP0133	1	227.015	487.539	1.279	-0,37	0,49		
28CP0155	1	225.566	487.137	1.290			-0,70	0,47
28CP0155	2	225.566	487.137	1.290			-1,13	0,50
28CP0155	3	225.566	487.137	1.290			-1,74	0,48
28CP0110	1	225.080	487.160	1.709	-0,08	0,46		
28AP0099	1	228.008	487.784	2.035	-0,49	0,25		
28AP0099	2	228.008	487.784	2.035	-0,54	0,25		
28AP0099	3	228.008	487.784	2.035			-0,31	0,23
28CP0189	1	228.512	484.862	2.432	-0,20	0,17		
28CP0189	2	228.512	484.862	2.432	-0,12	0,17		
28AP0093	1	224.550	488.101	2.687	-0,32	0,32		
28AP0093	2	224.550	488.101	2.687	-0,06	0,27		
28CP0205	1	229.099	487.325	2.708	-0,15	0,19		
28CP0173	1	223.787	487.283	2.947	-0,21	0,23		
28CP0173	2	223.787	487.283	2.947	-0,20	0,22		
28CP0173	3	223.787	487.283	2.947	-0,03	0,23		

Wordt vervolgd op volgende pagina.

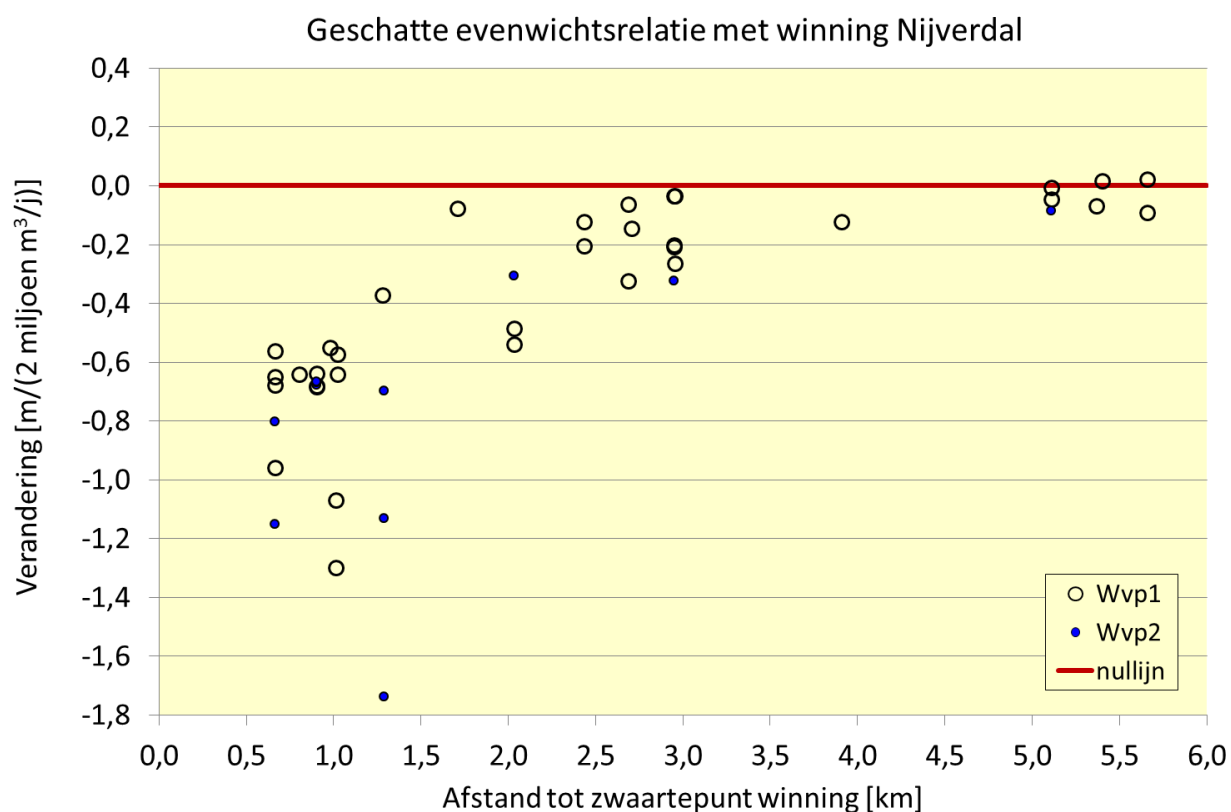
Tabel 8.1: Vervolg.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1		Wvp2	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(2 miljoen m³/j)			
28CP0173	4	223.787	487.283	2.947			-0,32	0,35
28CP0188	1	223.667	486.836	2.953	-0,26	0,28		
28CP0188	2	223.667	486.836	2.953	-0,03	0,26		
28CB0034	1	222.674	486.220	3.906	-0,12	0,04		
28AP0065	1	223.350	490.300	5.111	-0,01	0,05		
28AP0065	2	223.350	490.300	5.111	-0,05	0,05		
28AP0065	3	223.350	490.300	5.111			-0,09	0,11
28CP0112	1	221.836	483.824	5.366	-0,07	0,21		
28CP0109	1	221.264	487.302	5.401	0,02	0,13		
28AP0102	1	227.837	491.853	5.658	-0,09	0,16		
28AP0102	2	227.837	491.853	5.658	0,02	0,16		

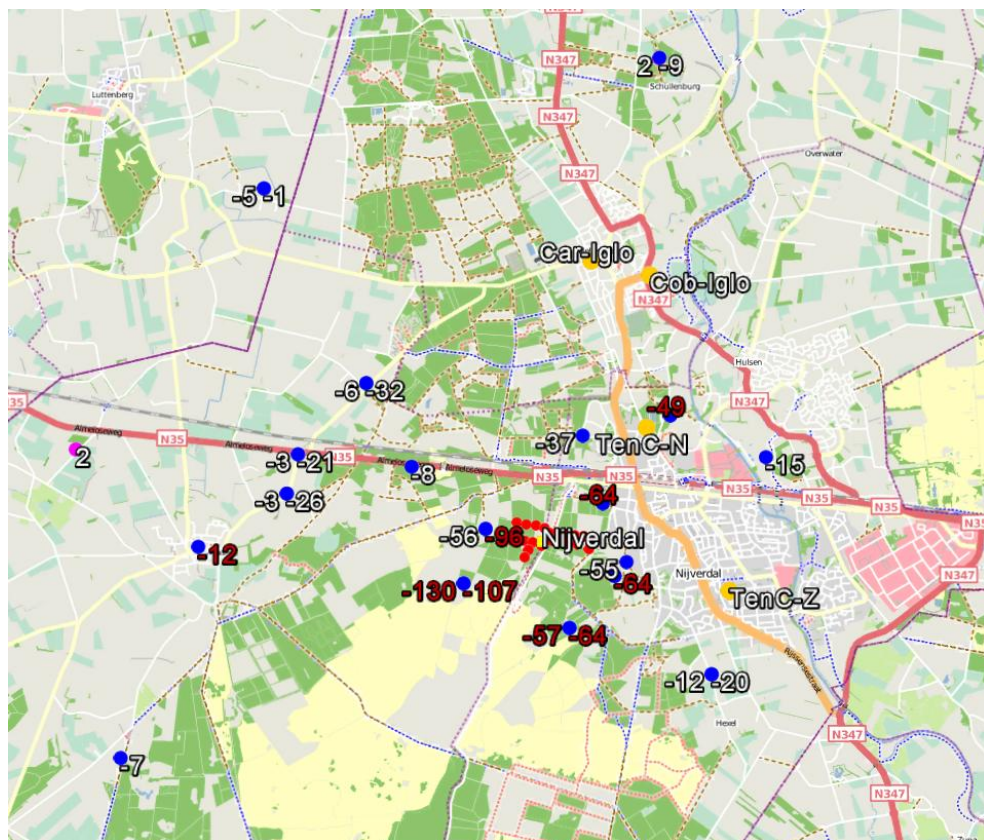
Toelichting

-0,23 statistisch significant negatief

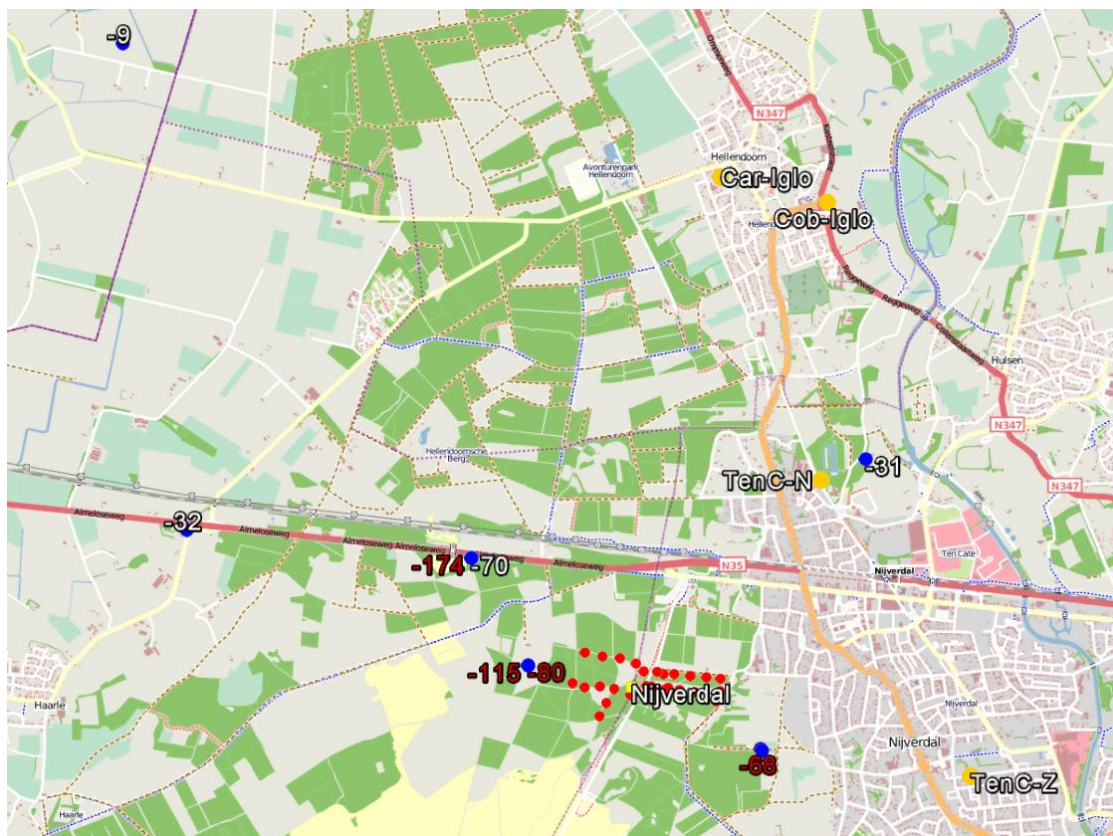
Figuur 8.10: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Nijverdal, bij een stationaire winning van 2 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



Kaart 8.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1 met de winning Nijverdal, in cm/(2 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 8.2: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp2 met de winning Nijverdal, in cm/(2 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 8.1, figuur 8.10 en de kaarten 8.1 en 8.2 zijn de volgende.

- Van de 46 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Nijverdal zijn er 20 statistisch significant (12 in wvp1, 8 in wvp2), waarvan alle negatief.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-1,74 \text{ m}/(2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, voor een peilfilter in wvp2, op 1.290 meter van het zwaartepunt van de winning. Maar de onzekerheid van deze schatting is zeer groot, omdat het 95%-betrouwbaarheidsinterval loopt van $-0,78$ tot $-2,69 \text{ m}/(2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$. Bovendien zijn voor de twee andere peilfilters van die peilbuis, eveneens in wvp2, duidelijk kleinere veranderingen geschat, namelijk respectievelijk $-0,70$ en $-1,13 \text{ m}/(2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, beide overigens met soortgelijke forse onzekerheden van circa 1 meter aan weerskanten. Een verklaring voor deze grote onzekerheden is niet direct te geven, dat vergt nader onderzoek, mogelijk ook van de omgeving van de peilbuis.
- In het landbouwgebied net ten westen van de Sallandse Heuvelrug zijn op een drietal locaties (op 2,5 à 3 km van de winning) grotere verlagingen geschat in het bovenste deel van wvp1 dan in het onderste deel (al betreft het geen statistisch significante verschillen, gezien de relatief grote standaardfouten van deze schattingen). Het kan samenhangen met een complexere bodemopbouw ter plaatse, of door het niet verdisconteren van het wateraanvoerplan Luttenberg bij de tijdreeksmodellering (zoiets kan lokaal leiden tot vertekeningen, die soms ook fysisch onlogisch zijn).
- Het totaalbeeld is dat van een zeer diffuse verlagingskegel.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $2 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ mogelijk 4 km of meer uit.

9 Wierden

9.1 Geografische en geohydrologische situatie

Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2009] en factsheet Vitens.

De drinkwaterwinning Wierden onttrekt vanaf 1951 grondwater, met de pompfilters op 15 - 50 meter onder maaiveld, dat zich daar op circa 15 meter boven NAP bevindt. Het grondgebruik in de omgeving bestaat voornamelijk uit stedelijk en agrarisch gebied. Even ten westen van de winning ligt het hoogveengebied Wierdense Veld, een Natura2000-gebied.

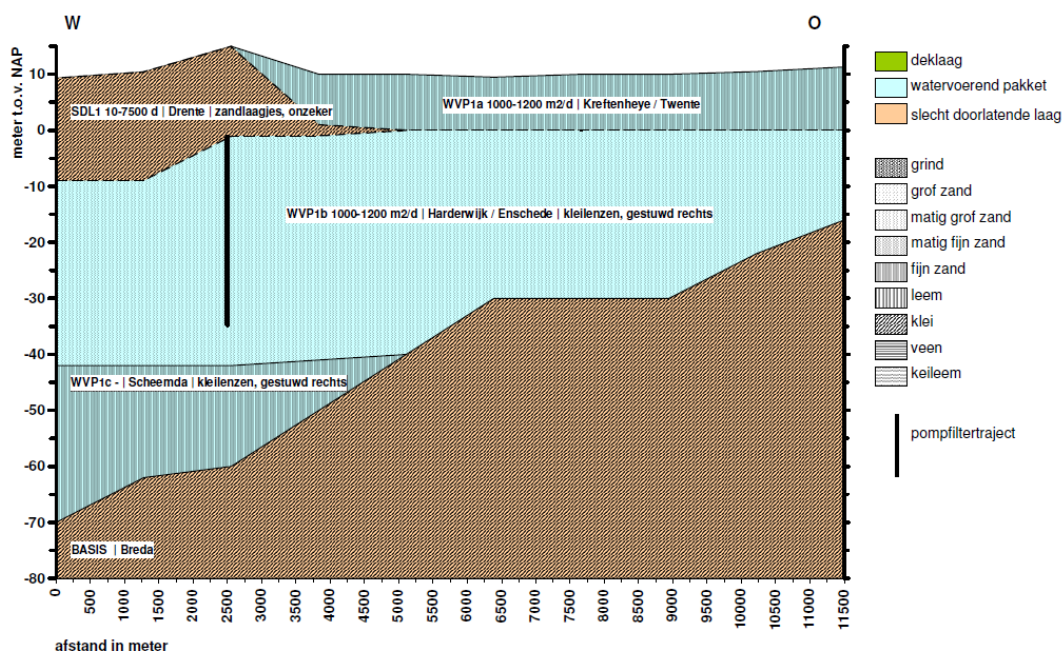
De winning Wierden bestond tot 2013 uit twee puttenvelden, respectievelijk ten westen en ten zuidwesten van Wierden. In 2013 is een aantal pompputten oostwaarts verplaatst naar het gebied Rectum-Ypelo en bestaat de winning uit drie puttenvelden.

Het grondwater wordt gewonnen uit een matig grofzandig pakket, afkomstig uit de Formaties van Harderwijk en Enschede (zie figuur 9.1).

Figuur 9.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Wierden. Bron: factsheet Vitens.

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Wierden
Winveld: Wierden



Het winpakket wordt deels afgedekt door een kleilaag van 0 tot 20 meter dikte, uit de Formatie van Drente. Meer naar het oosten wordt het winpakket afgedekt door een fijnzandig pakket uit de Formatie van Kreftenheye en Twente. Omdat het winpakket niet volledig wordt afgedekt met een slecht doorlatende kleilaag, betreft het een freatische winning. Onder het winpakket bevindt zich ter plaatse van het puttenterrein een fijnzandige laag uit de Formatie van Scheemda. Deze zanden liggen op de tertiaire Formatie van Breda.

De verspreiding van de klei uit de Formatie van Drente is beperkt. Deze laag is op sommige plaatsen ook ingesneden, zoals bij de rondweg om Wierden en het spoorlijnentraject Almelo-Zwolle. Zowel de continuïteit van deze klei als het dikteverloop heeft over het algemeen een onvoorspelbaar karakter.

Drinkwaterwinning Hoge Hexel

Een tweede drinkwaterwinning die mogelijk van invloed is op de grondwaterstand in de omgeving van de winning Wierden – zij het vermoedelijk in geringere mate (vanwege de afstand en de relatief beperkte winningsgrootte) – is Hoge Hexel (eveneens van Vitens). Deze winning ligt op 3,7 kilometer ten noorden van de winning Wierden, ten westzuidwesten van Vriezenveen. De vergunde winningshoeveelheid bedraagt 2,5 miljoen m³/jaar. Er wordt daar onttrokken uit een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket, met semi-spanningswater, op een diepte van circa 20 tot 65 meter onder maaiveld [Provincie Overijssel, 2010].

Waterhuishoudkundige maatregelen

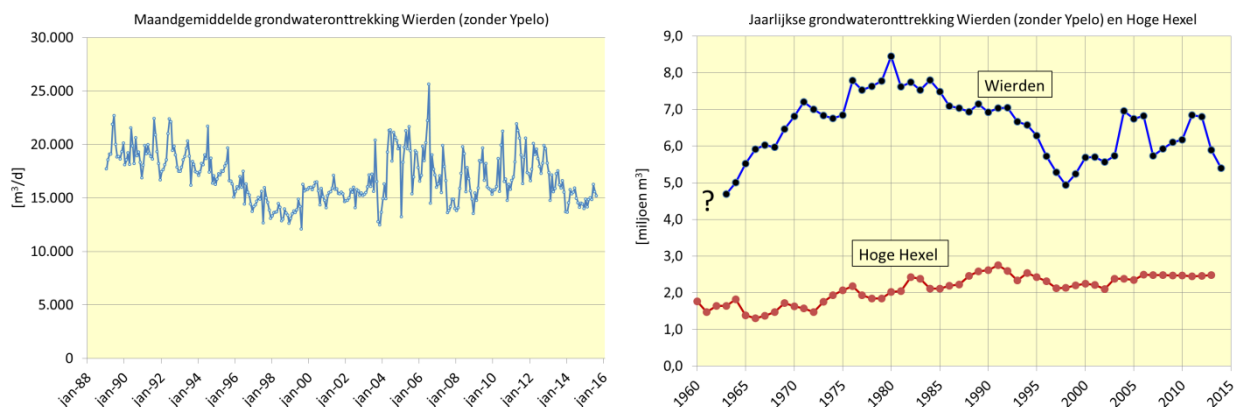
Om de ontwatering te verminderen in het westelijk van de winning Wierden gelegen hoogveengebied Wierdense Veld (een Natura200-gebied) zijn verschillende herstelmaatregelen uitgevoerd. Dat betrof niet alleen het aanpassen van peilen van ontwaterende sloten, maar ook het reduceren van de winning Wierden. Volgens modelberekeningen heeft deze winning namelijk invloed op het Wierdense Veld [Provincie Overijssel, 2013]. Verder is in 2013 een aantal pompputten van deze winning naar het oosten verplaatst. Die vormen nu de deelwinning Ypelo (zie ook § 9.2).

9.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Wierden is gestart in 1951 en het vergunningsdebiet bedraagt 8 miljoen m³/jaar. De winning omvatte eind 2012 27 pompputten. In 2013 is een deel van de winning circa 2 kilometer naar het zuidoosten verplaatst. Deze nieuwe deelwinning (Ypelo) omvat 12 pompputten. We zullen ons hier echter alleen richten op het verlagingsbeeld van de winning Wierden tot 2013, dus nog zonder de deelwinning Ypelo. De gedeeltelijke winningsverplaatsing in 2013 zal uiteraard een veranderd verlagingsbeeld met zich mee brengen, maar het zal niet eenvoudig zijn om dat nu al goed in beeld te brengen. Bovendien lopen de ons ter beschikking staande grondwaterstandgegevens te weinig door voor een gedegen reconstructie van die nieuwe situatie (voor deze omgeving lopen ze door tot april 2014).

Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1989 en op jaarbasis vanaf 1963. Het verloop van de onttrekking Wierden (zonder de deelwinning Ypelo) is weergegeven in figuur 9.2, op maandbasis en op jaarbasis. In de laatste figuur is tevens het verloop op jaarbasis weergegeven van de nabij gelegen drinkwaterwinning Hoge Hexel.

Figuur 9.2: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaats Wierden (zonder de deelwinning Ypelo), op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts). In de rechter figuur is tevens het verloop op jaarbasis weergegeven van de nabij gelegen drinkwaterwinning Hoge Hexel.

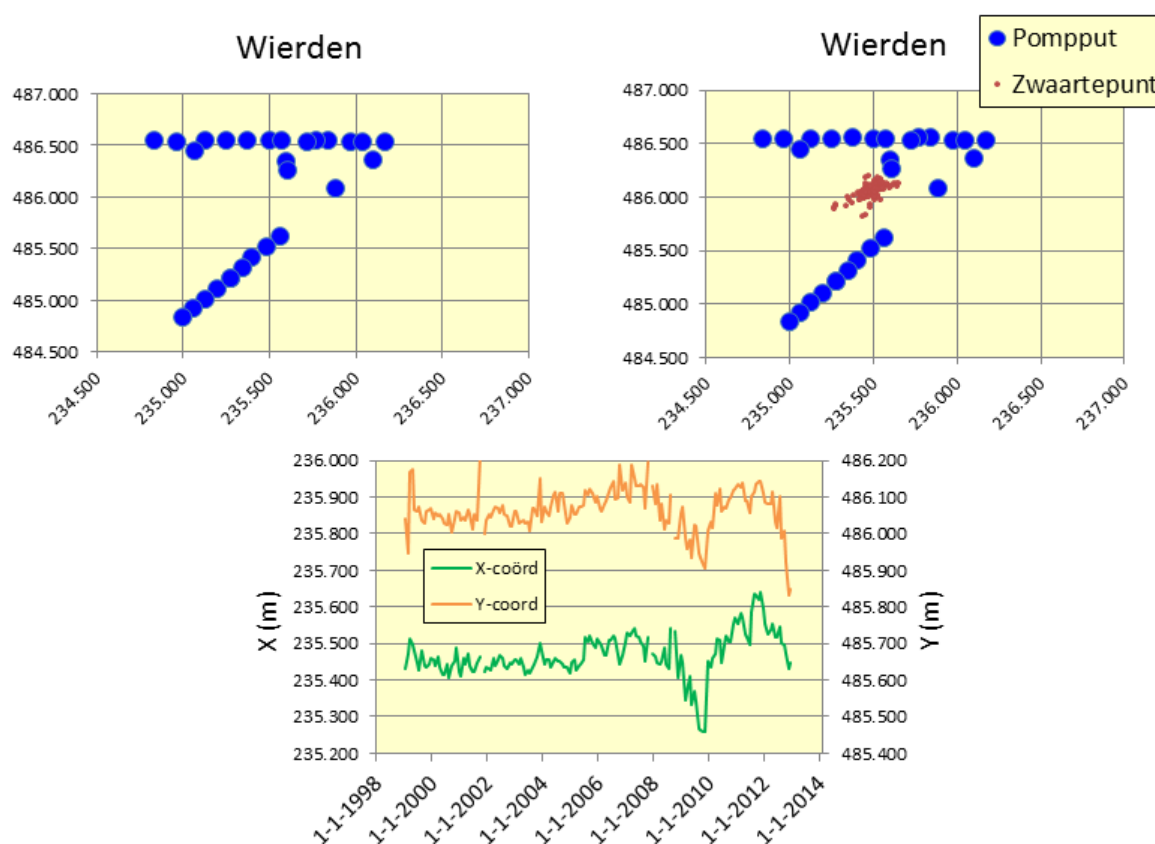


In 1963 bedroeg de winning Wierden 4,7 miljoen m³/jaar. Daarna nam deze, onderbroken door korte dalingen, toe tot 8,5 miljoen m³/jaar in 1980. Vervolgens daalde de winning gestaag tot 4,9 miljoen m³/jaar in 1998, om vervolgens weer toe te nemen tot 7,0 miljoen m³/jaar in 2004. In de periode 2005 tot 2013 trad een fluctuatie op van het jaargebruik van circa 1 miljoen m³. En in 2013 is het jaargebruik circa 1 miljoen m³ gedaald van 6,8 naar 5,9 miljoen m³, doordat een deel van de winning is overgenomen door Ypelo.

De winning Hoge Hexel kende in de periode 1960 t/m 2013 geen abrupte veranderingen van omvang, maar slechts een geleidelijk verloop. De winning bedroeg in 1960 1,8 miljoen m³/jaar en in 2013 2,5 miljoen m³/jaar.

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning Wierden is op maandbasis weergegeven in figuur 9.3, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt. Dit betreft de periode januari 1999 t/m december 2012, omdat de onttrekkingscijfers slechts vanaf 1999 beschikbaar zijn per pompput. En de periode gaat niet verder dan 2012 omdat onze analyse het deel daarna – met de invloed van de deelwinning Ypelo - niet beschouwt.

Figuur 9.3: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Wierden (zonder de deelwinning Ypelo). Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode januari 1999 t/m december 2012. Onder: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in die periode.



De ruimtelijke spreiding van de pompputten van de winning Wierden is extreem groot, namelijk 1.340 meter in de X-richting en 1.720 meter in de Y-richting. Er is daarmee geen sprake van een geconcentreerde winning, maar van een zeer omvangrijk onttrekkingsvlak. Van de peilfilters met modelresultaten zijn er drie die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevinden (zie § 9.5).

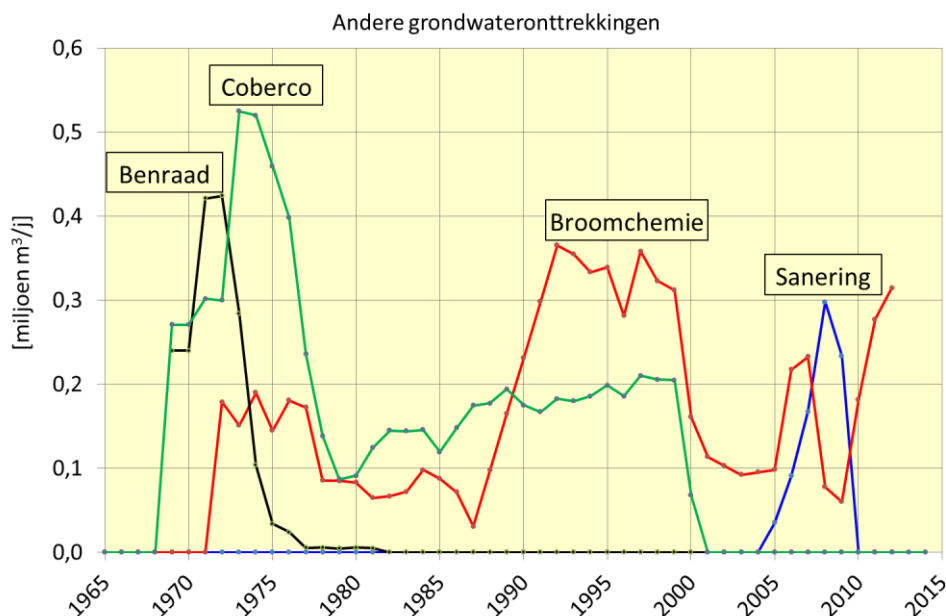
Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode relatief veel verplaatst, namelijk 380 meter in de X-richting en 380 meter in de Y-richting. De verplaatsingen kunnen voor dicht bij de winning gelegen peilfilters hebben geleid tot vertekening van de geschatte evenwichtsrelatie met de winning, aangezien de modellering geen rekening houdt met een invloed van de verplaatsing op de grondwaterstand.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt bedraagt over de aangegeven periode 235.458 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 486.064 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

9.3 Relevante andere grondwateronttrekkingen

Gelet op hun onttrekkingsgroottes en hun afstanden tot de in deze studie beschouwde peilbuizen zijn er vier andere relevante grondwateronttrekkingen in de omgeving, namelijk die van Broomchemie (een beheersmaatregel), Benraad, Coberco en een sanering (zie figuur 9.4).

Figuur 9.4: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op jaarbasis van Broomchemie (een beheersmaatregel), Benraad, Coberco en een sanering.



De grondwateronttrekking Broomchemie (een beheersmaatregel) is gestart in 1972 en bedroeg maximaal 0,36 miljoen m³/jaar (in 1992).

Van de grondwateronttrekking Benraad is de start niet bekend. Het maximum bedroeg 0,42 miljoen m³/jaar, in 1972, waarna de onttrekking snel sterk afnam. Deze is gestopt in 1981.

De grondwateronttrekking Coberco is gestart in 1969 en bedroeg maximaal 0,53 miljoen m³/jaar, in 1973, waarna deze sterk afnam en vervolgens van 1979 tot 2000 schommelde tussen 0,1 en 0,2 miljoen m³/jaar. De onttrekking is gestopt in 2000.

De grondwateronttrekking voor sanering duurde slechts enkele jaren, van 2005 t/m 2009. Deze bedroeg maximaal 0,30 miljoen m³/jaar, in 2008.

9.4 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 321 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 174 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Wierden. De vroegste reeksstart is in januari 1936 en de laatste in juni 2012, terwijl het vroegste reekseind in april 1957 is en het laatste in april 2014. De kortste reeks omvat één dag en de langste 63,7 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 12,9 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op jaarbasis. Een belangrijke reden is dat het patroon van de winning Wierden onvoldoende onderscheidend is van het patroon van het potentieel neerslagoverschot, over de beoogde modelperiode met beschikbare data op maandbasis. Over de periode januari 1989 t/m december 2012 bedraagt de correlatiecoëfficiënt

van hun maandwaarden namelijk -0,37. Een aanvullende reden is dat hier in meerdere gevallen sprake is van een relatief dikke onverzadigde zone en daarmee van een lange responstijd van de grondwaterstand op het neerslagoverschot. Dergelijke uitgesmeerde relaties laten zich doorgaans beter modelleren op jaarbasis.

Als modelperiodevenster is de periode 1985 t/m 2000 genomen. Deze periode omvat namelijk een grote verandering van de jaarlijkse winning (circa 2,5 miljoen m³), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodellerings zal bevorderen. Verder zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1985;
2. het reekseind is niet eerder dan 2000;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 5 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Wierden;
4. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning dan Wierden of Hoge Hexel;
5. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op jaarbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winning Wierden en het potentieel neerslagoverschot. Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 moeten voor 29 grondwaterstandreeksen ook één of meer andere grondwateronttrekkingen worden meegenomen als invoerreeksen. Dit betrof Hoge Hexel, Sanering, Broomchemie en Coberco (waarvan in 18 van de 29 gevallen Hoge Hexel). Van deze vier invoerreeksen is alleen de onttrekking van Broomchemie relevant verstrengeld met de winning Wierden (zie figuur 9.5), zodat hun evenwichtsrelaties met de grondwaterstand dan niet onafhankelijk van elkaar kunnen worden geschat.

Figuur 9.5: Correlatiematrix van de invoerreeksen op jaarbasis, over de periode 1980 t/m 2012.

	PNO	Wierden	Hoge Hex	Sanering	Broomch	Coberco
PNO	1,00					
Wierden	-0,19	1,00				
Hoge Hexel	-0,38	0,04	1,00			
Sanering	-0,03	-0,22	0,24	1,00		
Broomchem	0,02	-0,38	0,31	-0,21	1,00	
Coberco	-0,12	0,12	-0,06	-0,44	0,38	1,00

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

6. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de jaren zonder waarde en er zijn niet meer dan 2 opeenvolgende jaren zonder waarde;

7. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
8. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van negen tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria).

9.5 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 35 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 24 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Wierden, met als eenheid m/(miljoen m³/j). Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar m/(3,5 miljoen m³/j), aangezien dat de maximale variatie is van de winning Wierden over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1980 t/m 2012. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van 5,0 miljoen m³/j naar 8,5 miljoen m³/j. Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 9.1 en ook weergegeven in figuur 9.6, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze weergegeven in de kaarten 9.1 (wvp1a) en 9.2 (wvp1b).

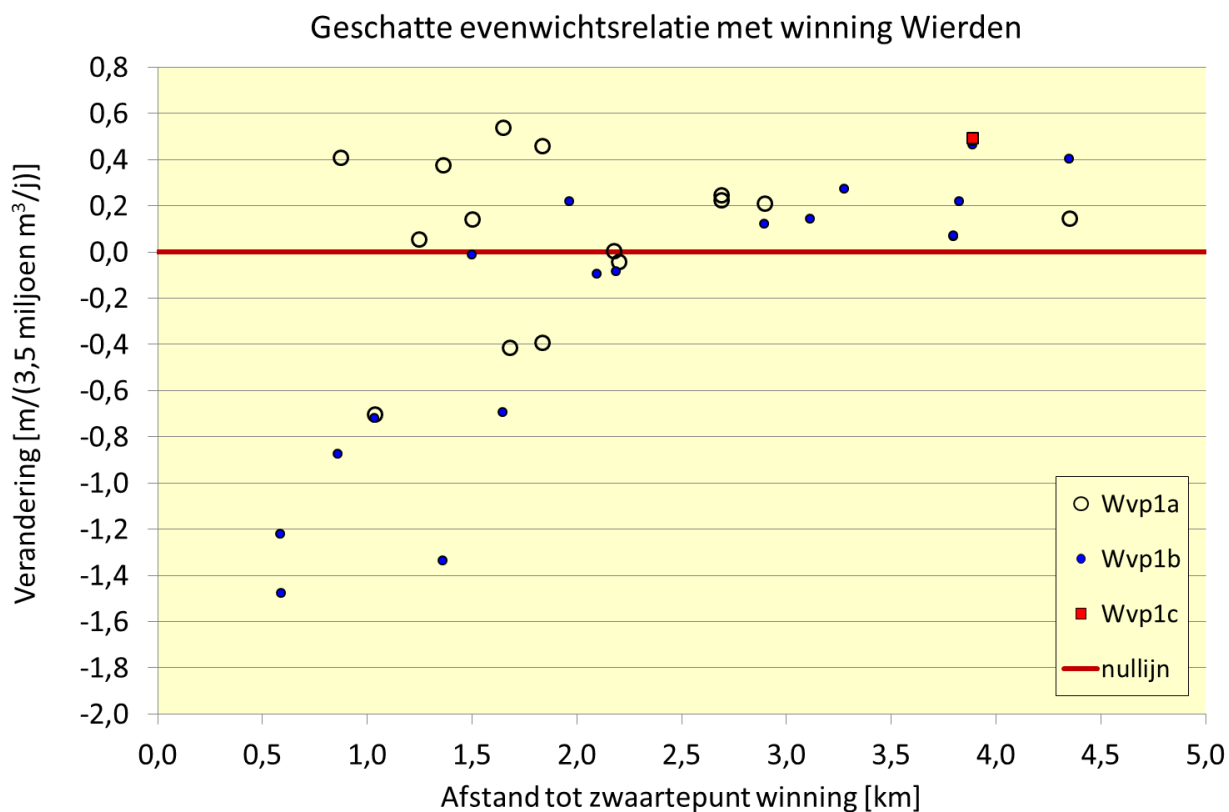
Tabel 9.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Wierden, bij een stationaire winning van 3,5 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1a		Wvp1b		Wvp1c	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(3,5 miljoen m³/j)					
28DP0169	1	235.454	485.472	587			-1,22	0,50		
28DB0005	1	235.790	486.554	590			-1,48	0,48		
28DP0170	1	235.279	485.222	858			-0,88	0,32		
28DP0115	1	235.690	485.214	873	0,41	0,37				
28DP0149	1	236.443	485.708	1.035	-0,70	0,18				
28DP0149	2	236.443	485.708	1.035			-0,72	0,15		
28DP0059	1	235.293	487.292	1.246	0,06	0,65				
28DP0217	2	234.655	487.149	1.360	0,38	0,45				
28DP0217	3	234.655	487.149	1.360			-1,34	0,48		
28DP0153	1	234.026	486.462	1.498	0,14	0,23				
28DP0153	2	234.026	486.462	1.498			-0,01	0,23		
28DP0047	1	235.146	484.445	1.646	0,54	0,14				
28DP0047	2	235.142	484.445	1.647			-0,70	0,51		
28DP0060	1	236.514	487.374	1.680	-0,41	0,15				
28BP0130	1	235.585	487.890	1.835	0,46	0,18				
28BP0130	2	235.585	487.890	1.835	-0,39	0,16				
28DP0148	1	233.590	485.478	1.966			0,22	0,14		
28BP9009	1	234.646	487.987	2.097			-0,10	0,20		
28DP0061	1	237.292	487.244	2.174	0,01	0,13				
28BP0033	2	235.653	488.237	2.185			-0,08	0,16		
28DP0219	1	237.668	485.978	2.201	-0,04	0,06				
28DP0083	1	236.489	483.571	2.689	0,22	0,17				
28DP0083	2	236.489	483.571	2.689	0,25	0,15				
28BP0016	1	235.302	488.950	2.896	0,21	0,06				
28BP0016	2	235.302	488.950	2.896			0,12	0,16		
28BP0036	1	236.560	488.975	3.113			0,14	0,04		
28BP0032	1	234.193	489.078	3.278			0,27	0,11		
28BP0012	1	236.800	489.615	3.797			0,07	0,10		
28BP0012	2	236.800	489.615	3.797			0,07	0,04		
28BP0018	1	235.648	489.879	3.824			0,22	0,06		
28DP0208	1	231.636	486.715	3.889			0,46	0,11		
28DP0208	2	231.636	486.715	3.889			0,48	0,10		
28DP0208	3	231.636	486.715	3.889					0,49	0,10
28BP9008	1	232.065	488.766	4.349	0,15	0,12				
28BP9008	2	232.065	488.766	4.349			0,40	0,12		

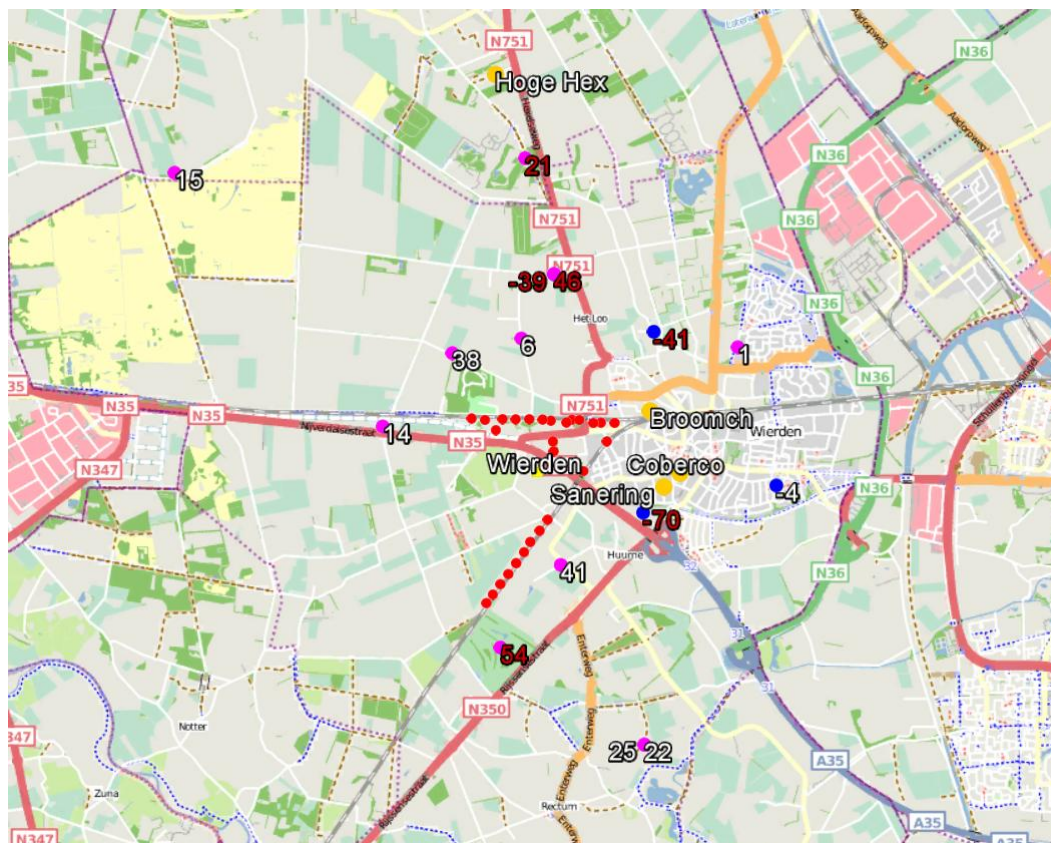
Toelichting

-0,23	statistisch significant negatief
0,10	statistisch significant positief (fysisch onlogisch)
28DP0169	peilbuis binnen 100 meter van een pompput

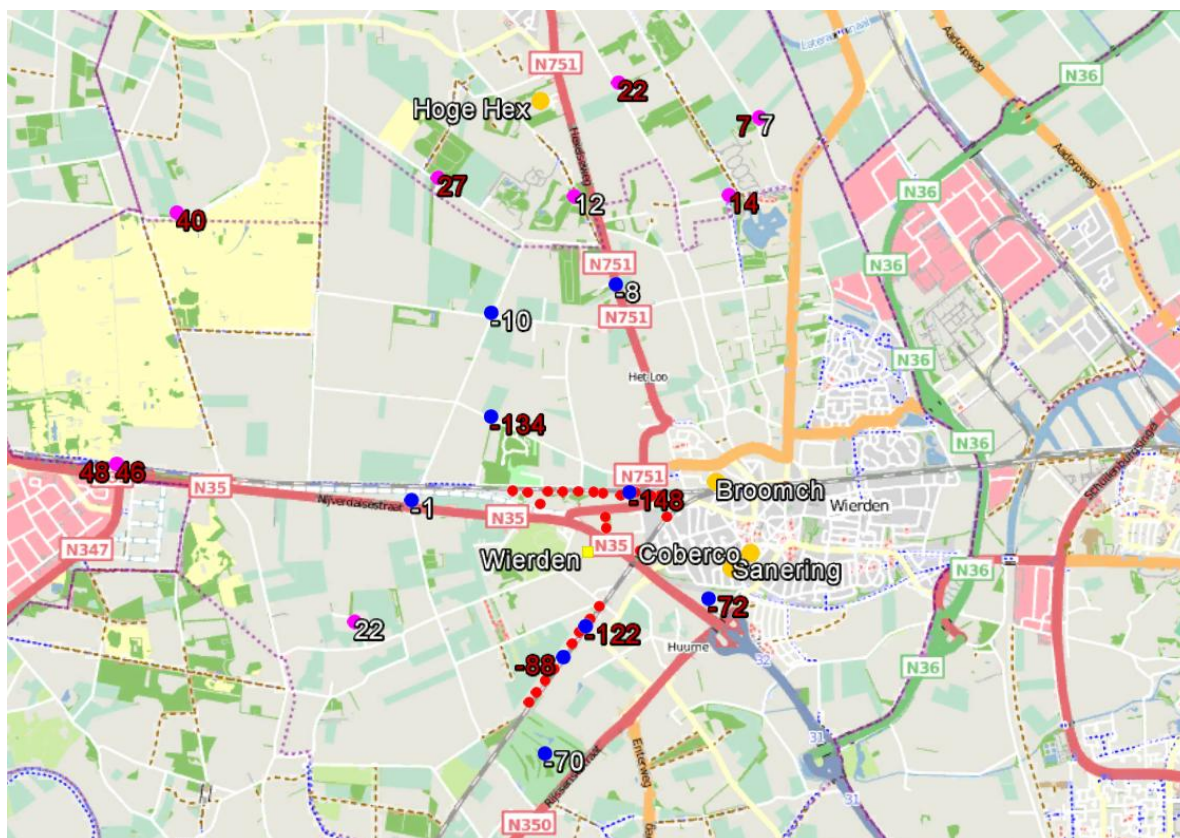
Figuur 9.6: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Wierden, bij een stationaire winning van 3,5 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



Kaart 9.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1a met de winning Wierden, in cm/(3,5 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 9.2: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1b met de winning Wierden, in cm/(3,5 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 9.1, figuur 9.6 en de kaarten 9.1 en 9.2 zijn de volgende.

- Van de 35 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Wierden zijn er 19 statistisch significant (6 in wvp1a, 12 in wvp1b en 1 in wvp1c). Hiervan zijn er 8 negatief (3 in wvp1a en 5 in wvp1b) en 11 positief (3 in wvp1a, 7 in wvp1b en 1 in wvp1c).
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-1,48 \text{ m}/(3,5 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, voor een peilfilter in wvp1b, op 590 meter van het zwaartepunt van de winning. De betreffende peilbuis bevindt zich op slechts 19 meter van een pompput en zal daar sterk door zijn beïnvloed.
- Ook van twee andere peilfilters in wvp1b die zich vlakbij een pompput bevinden kan de geschatte verandering sterk beïnvloed zijn door die pompput.
- Het totaalbeeld is dat van een zeer diffuse verlagingskegel, met ook meerdere relevante verhogingen.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning (het gebied begrensd door de 5 cm verlagingslijn) zich bij $3,5 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk niet verder dan 3 km uit.

9.6 Voorbehoud over dit verlagingsbeeld

We moeten een voorbehoud maken over het gereconstrueerde verlagingsbeeld van de winning Wierden, vanwege het opvallend grote aandeel statistisch significante positieve - en daarmee fysisch onlogische - evenwichtsrelaties. Dit kan er namelijk op duiden dat er vertekeningen zijn opgetreden bij het reconstrueren van het verlagingsbeeld. Het is niet uit te sluiten dat deze deels samenhangen met de maatregelen die zijn uitgevoerd om de ontwatering te verminderen in het hoogveengebied Wierdense Veld (genoemd in § 9.1). Die maatregelen zijn namelijk niet verdisconteerd bij de tijdreeksmodellering, omdat daarvoor gedetailleerde informatie nodig is over hun ruimtelijke en temporele dimensies.

10 Witharen

10.1 Geografische en geohydrologische situatie

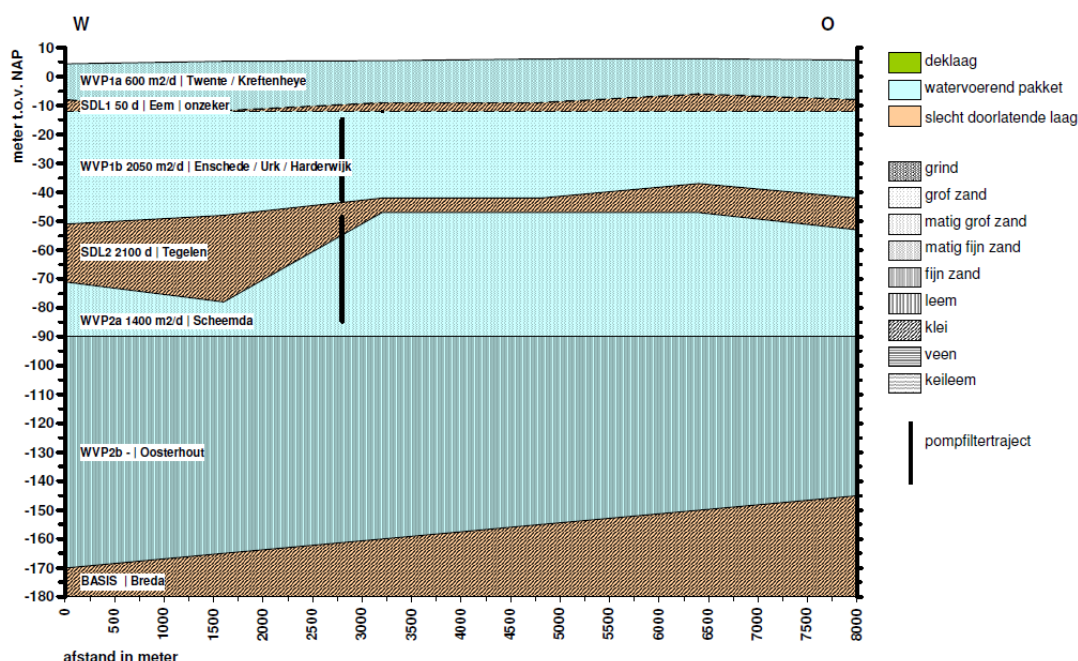
Bronnen: Wikipedia, Gebiedsdossier [Provincie Overijssel, 2010] en factsheet Vitens.

De winning Witharen ligt ten zuiden van Balkbrug en ten noorden van Ommen. Het grondwater wordt daar vanaf 1932 onttrokken aan twee gedeeltelijk afgesloten watervoerende pakketten, die worden gescheiden door een kleilaag (zie figuur 10.1). De pompfilters bevinden zich tussen 22 en 93 meter onder maaiveld, dat zich daar op circa 7 meter boven NAP bevindt.

Figuur 10.1: Geohydrologisch profiel van de ondergrond van de winning Witharen. Bron: factsheet Vitens.

Geohydrologische factsheet, profiel

Productielokatie: Witharen
Winveld: Witharen



Het 1^e watervoerende pakket bestaat uit een bovenste laag van matig fijn zand uit de Formaties van Twente en Kreftenheye (wvp1a) en een onderste laag van grof zand uit de Formaties van Enschede, Urk en Harderwijk (wvp1b), waaruit een deel van het grondwater wordt onttrokken. Tussen de twee lagen bevindt zich een slecht doorlatende kleilaag uit de Eemformatie, die echter niet overal aanwezig is en ook zeer sterk in dikte varieert. Ten noorden van het waterwingebied komt de Eemformatie niet voor.

Het 1^e en het 2^e watervoerende pakket worden van elkaar gescheiden door een laag Tegelenklei, die in de omgeving van de pompputten varieert in dikte tussen de 5 en 30 meter.

Het 2^e watervoerende pakket bestaat uit een bovenste laag van matig grof zand uit de Formatie van Scheemda (wvp2a), waaruit ook een deel van het grondwater wordt onttrokken en uit een onderste laag van fijn zand uit de Formatie van Oosterhout (wvp2b). In de Scheemda-laag zijn plaatselijk dunne veen- en kleilaagjes aangetroffen. De formatie van Oosterhout bestaat uit matig fijne, sterk

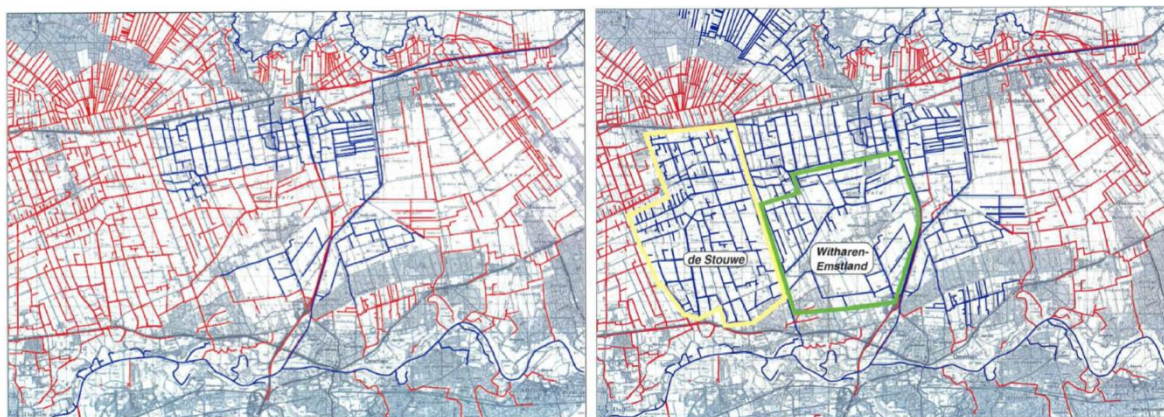
slibhoudende mariene zanden. Daarin bevindt zich een min of meer scheidende laag, gevormd door dunne leemlaagjes die verspreid over de diepte voorkomen. Deze minder doorlatende lagen kunnen het pakket in meerdere watervoerende pakketten opsplitsen. Het 2^e watervoerende pakket ligt op een basis van klei uit de Formatie van Breda.

Het grondgebruik in het gehele gebied bestaat voornamelijk uit landbouw. Nabij het waterwingebied ligt de kern van Witharen en in het zuidoosten van het vigerend intrekgebied bevindt zich een deel natuur.

Waterhuishoudkundige ingrepen

Door de relatief zandige ondergrond is het gebied gevoelig voor droogte. Om de effecten van de winning op de landbouw tegen te gaan zijn wateraanvoerplannen gerealiseerd, waarbij in de zomerperiode water wordt aangevoerd en in de winterperiode water wordt afgevoerd. Tot 1992 vond in droge periode wateraanvoer plaats in het noordelijke en centrale deel van het onderzoeksgebied (zie figuur 10.2, links). In de perioden 1993-1994 en 1995-1996 zijn gefaseerd een tweetal wateraanvoerplannen gerealiseerd in de kern van het gebied, namelijk Wateraanvoerplan Witharen-Emsland en Wateraanvoerplan De Stouwe (zie figuur 10.2, rechts). In het groeiseizoen wordt ten behoeve van de landbouw oppervlaktewater benut vanuit het Ommerkanaal (dat vanaf de Vecht bij Ommen naar het noorden loopt) en de Vecht, om de gewenste peilen in de sloten te kunnen handhaven.

Figuur 10.2. Waterlopen met wateraanvoer (blauw) en zonder wateraanvoer (rood). Links: Situatie tot eind 1992. Rechts: Realisatie wateraanvoer in gebied Witharen–Emsland in 1993-1994 en in gebied De Stouwe in 1995-1996.

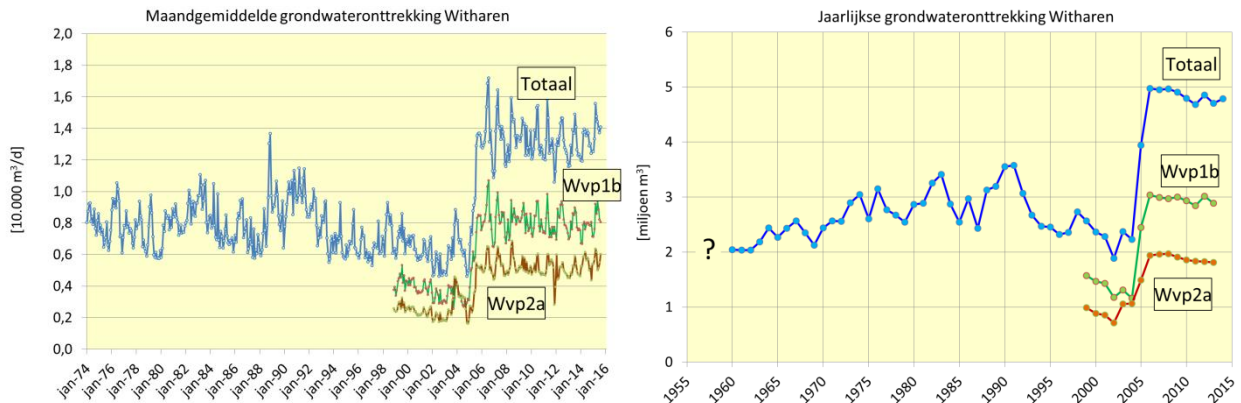


10.2 Ontwikkeling van de drinkwaterwinning

De drinkwaterwinning Witharen is gestart in 1932 en het vergunningsdebiet bedraagt 5 miljoen m³/jaar. De winning omvat 15 pompputten, waarvan 9 in watervoerend pakket 1b en 6 in watervoerend pakket 2a.

Er zijn onttrekkingsgegevens op maandbasis beschikbaar vanaf januari 1974 en op jaarbasis vanaf 1960. Het verloop van de onttrekking Witharen is weergegeven in figuur 10.3, op maandbasis en op jaarbasis.

Figuur 10.3: Verloop van de hoeveelheid grondwateronttrekking op de winplaats Witharen, op maandbasis (links) en op jaarbasis (rechts), in beide gevallen ook met onderscheid naar het winpakket.

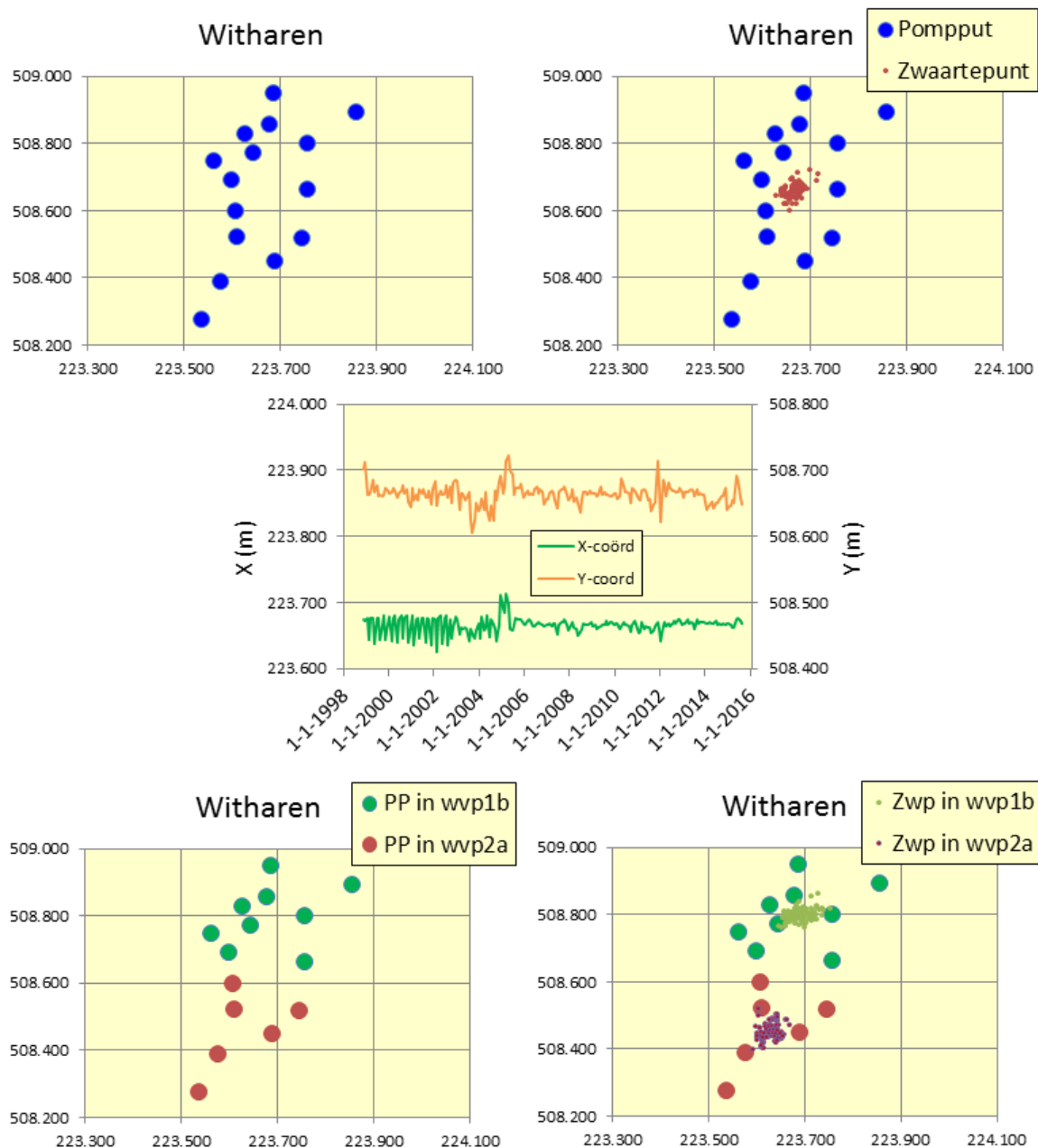


In 1960 bedroeg de winning 2,0 miljoen m³/jaar. Daarna nam deze, onderbroken door korte dalingen, geleidelijk toe tot 3,6 miljoen m³/jaar in 1992. Vervolgens daalde de winning tot 1,9 miljoen m³/jaar in 2002. In 2005 was er plots een ruime verdubbeling van de winning, toen deze toenam tot 5 miljoen m³/jaar, komende van 2,2 miljoen m³/jaar in 2004. Van 2005 t/m 2014 bleef de winning vrij stabiel tussen 4,7 en 5,0 miljoen m³/jaar.

Figuur 10.3 toont ook het verloop van de winning per winpakket, op maandbasis vanaf november 1998 en op jaarbasis vanaf 1999. Op jaarbasis werd doorgaans circa 60% van het totaal onttrokken uit winpakket 1b en circa 40% uit winpakket 2a. Uitzonderingen daarop waren het jaar 2003, toen die aandelen 55% en 45% bedroegen en het jaar 2004, toen die aandelen 52% en 48% bedroegen.

Het ruimtelijke verloop van het zwaartepunt van de winning Witharen is op maandbasis weergegeven in figuur 10.4, evenals het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt. Dit betreft de periode november 1998 t/m augustus 2015, omdat de onttrekkingscijfers pas vanaf november 1998 beschikbaar zijn per pompput.

Figuur 10.4: Linksboven: locaties van de pompputten van de winning Witharen. Rechtsboven: tevens met het zwaartepunt van de winning, voor elke maand in de periode november 1998 t/m augustus 2015. Midden: Het temporele verloop van de X- en Y-coördinaten van het zwaartepunt van de winning op maandbasis, eveneens in die periode. Linksonder: locaties van de pompputten per winpakket. Rechtsonder: tevens met het zwaartepunt per winpakket, voor elke maand in de periode november 1998 t/m augustus 2015.



De ruimtelijke spreiding van de pompputten van de winning Witharen is relatief groot, namelijk 320 meter in de X-richting en 680 meter in de Y-richting. Er is daarmee geen sprake van een geconcentreerde winning, maar van een groot onttrekkingsvlak. Van de peilfilters met modelresultaten is er geen die zich op minder dan 100 meter van een pompput bevindt (zie § 10.4).

Het zwaartepunt van de winning is binnen de aangegeven periode verplaatst, namelijk 90 meter in de X-richting en 120 meter in de Y-richting. De verplaatsingen kunnen voor dicht bij de winning gelegen peilfilters hebben geleid tot vertekening van de geschatte evenwichtsrelatie met de

winning, aangezien de modellering geen rekening houdt met een invloed van de verplaatsing op de grondwaterstand.

De pompputten van wvp1b liggen noordelijk van de pompputten van wvp2a. De afstand tussen de mediane zwaartepunten van deze twee deelwinningen bedraagt 360 meter.

De mediane X-coördinaat van het zwaartepunt van de totale winning bedraagt over de aangegeven periode 223.668 meter en de mediane Y-coördinaat bedraagt 508.665 meter. We zijn uitgegaan van deze mediane coördinaten om de in de presentaties van de resultaten gebruikte afstand van een peilbuis tot het zwaartepunt van de winning te bepalen.

10.3 Aanpak tijdreeksmodellering

Er zijn gegevens beschikbaar van 197 meetreeksen van de grondwaterstand, gemeten in filters van 99 peilbuizen die zich binnen 8 kilometer bevinden van de winning Witharen. De vroegste reeksstart is in augustus 1952 en de laatste in juni 2012, terwijl het vroegste reekseind in december 1974 is en het laatste in juni 2014. De kortste reeks omvat één dag en de langste 60,6 jaar. Het grootste reekshiaat (periode zonder meetwaarden) bedraagt 16,2 jaar.

De tijdreeksmodellering van de grondwaterstandreeksen is uitgevoerd op maandbasis. Door de abrupte verdubbeling van de winning Witharen in 2005 (zie § 10.2) is zijn patroon voldoende onderscheidend van dat van het potentieel neerslagoverschot, over de beoogde modelperiode met beschikbare data op maandbasis. Over de periode januari 1997 t/m december 2013 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van hun maandwaarden namelijk -0,23. Als de absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt van twee reeksen groter is dan 0,3, zijn hun patronen moeilijk te onderscheiden bij tijdreeksmodellering. We kunnen dan spreken van relevante verstrengeling van deze factoren.

Als modelperiodevenster is de periode 1997 t/m 2010 genomen. Deze periode omvat namelijk een grote verandering van de jaarlijkse winning (circa 3,1 miljoen m³), wat het onderscheidend vermogen van de tijdreeksmodelleringen zal bevorderen. Verder begint deze periode ná het in werking treden van de wateraanvoerplannen Witharen-Emsland en De Stouwe, zodat deze niet bij de tijdreeksmodellering hoeven te worden verdisconteerd (wat niet eenvoudig zou zijn geweest). Ook zijn er over die periode voldoende grondwaterstandreeksen van voldoende kwaliteit beschikbaar.

Voor de tijdreeksmodellering zijn de grondwaterstandreeksen geselecteerd die voldoen aan elk van de volgende criteria:

1. de reeksstart is niet later dan 1997;
2. het reekseind is niet eerder dan 2010;
3. de peilbuis bevindt zich binnen 6 km afstand van het zwaartepunt van de drinkwaterwinning Witharen;
4. de peilbuis bevindt zich niet binnen 5 km afstand van een andere drinkwaterwinning dan Witharen;
5. de XY-coördinaten zijn niet veranderd in de meetperiode en als het een landbouwbuis betreft zijn tevens andere metadata niet veranderd (zoals maaiveldhoogte, meetpunthoogte en filterstelling). Vooral bij landbouwbuisen blijkt de grondwaterstandreeks namelijk vaak gevoelig voor veranderingen in metadata.

Elk van de aldus geselecteerde meetreeksen is omgezet tot een tijdreeks op maandbasis, op de wijze zoals beschreven in § 2.1. Vervolgens is daarvan een tijdreeksmodel ontwikkeld, met als invoerreeksen de winning Witharen en het potentieel neerslagoverschot. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt tussen de twee deelwinningen van Witharen, omdat deze dermate sterk correleren dat het niet mogelijk is hun evenwichtsrelaties met de grondwaterstand onafhankelijk van elkaar te schatten. Over de periode november 1998 t/m december 2013 bedraagt de correlatiecoëfficiënt van de twee deelwinningen op maandbasis namelijk 0,92.

Conform de criteria genoemd in § 3.1.1 hoeft voor geen van de grondwaterstandreeksen nog een andere grondwateronttrekking te worden meegenomen als invoerreeks.

Voor de constructie van het verlagingsbeeld zijn ten slotte alleen de modelresultaten meegenomen van de reeksen die voldoen aan de volgende criteria:

6. de tijdreeks bevat niet meer dan 15% van de maanden zonder waarde en er zijn niet meer dan 24 opeenvolgende maanden zonder waarde;
7. de 1^e-orde autocorrelatieparameter van het ruismodel (in Box-Jenkins-notatie aangeduid als ϕ) is niet hoger geschat dan 0,90. Hogere waarden van ϕ duiden er namelijk doorgaans op dat de tijdreeks nog een grootschalige structuur bevat die onvoldoende kan worden beschreven door de meegenomen invoerreeksen (zie ook § 3.2);
8. een visuele beoordeling van de pasvorm van het deterministische deel van het tijdreeksmodel geeft geen duidelijke aanwijzing dat dit deel van het tijdreeksmodel onvolkomen is.

Op basis van deze laatste visuele beoordeling zijn de resultaten afgekeurd van twee tijdreeksmodellen (deze voldeden nog wel aan de overige criteria).

10.4 Resultaten tijdreeksmodellering

De hiervoor beschreven aanpak leverde modelresultaten op van 89 grondwaterstandreeksen, afkomstig van één of meer peilfilters van 27 peilbuizen.

De resultaten omvatten voor elke meetreeks de geschatte evenwichtsrelatie met de winning Witharen, met als eenheid $\text{m}/(10.000 \text{ m}^3/\text{d})$. Voor de presentatie hebben we elke schatting lineair geëxtrapoleerd naar $\text{m}/(3,1 \text{ miljoen m}^3/\text{j})$, aangezien dat de maximale variatie is van de winning Witharen over de meest gebruikte modelperiode, die loopt van 1997 t/m 2013. Deze evenwichtsrelatie geldt voor een stationaire winningsverandering van 1,9 miljoen m^3/j naar 5,0 miljoen m^3/j . Zie ook de toelichting op deze extrapolatie en zijn geldigheidsbereik in § 3.3.

De geschatte evenwichtsrelaties (en hun standaardfouten) zijn vermeld in tabel 10.1 en ook weergegeven in figuur 10.5, waarbij ze zijn uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning. Ten slotte zijn ze voor elk van de watervoerende pakketten afzonderlijk weergegeven in de kaarten 10.1 t/m 10.4.

Tabel 10.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie (en bijbehorende standaardfout) van de grondwaterstand met de winning Witharen, bij een stationaire winning van 3,1 miljoen m³/j.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand	Wvp1a		Wvp1b		Wvp2a		Wvp2b	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		(m)	m/(3,1 miljoen m³/j)						
22CP0129	1	223.882	508.577	232	-0,55	0,05						
22CP0129	2	223.882	508.577	232			-0,62	0,05				
22CP0129	3	223.882	508.577	232					-0,93	0,07		
22CP0129	4	223.882	508.577	232					-0,93	0,06		
22CP0129	5	223.882	508.577	232							-0,93	0,06
22CP0129	6	223.882	508.577	232							-0,93	0,06
22CP0129	7	223.882	508.577	232							-0,90	0,06
22CP0129	8	223.882	508.577	232							-0,93	0,06
22CP0131	1	223.401	508.600	275	-0,54	0,05						
22CP0131	2	223.401	508.600	275			-0,56	0,04				
22CP0131	3	223.401	508.600	275			-0,67	0,03				
22CP0131	4	223.401	508.600	275					-0,76	0,06		
22CP0131	5	223.401	508.600	275							-0,77	0,06
22CP0131	6	223.401	508.600	275							-0,77	0,06
22CP0131	7	223.401	508.600	275							-0,79	0,06
22CP0131	8	223.401	508.600	275							-0,78	0,08
22CP0140	1	223.331	509.296	715	-0,20	0,03						
22CP0140	2	223.331	509.296	715			-0,26	0,03				
22CL9011	1	222.967	508.823	719	-0,25	0,03						
22CP0085	1	224.150	509.410	888	-0,19	0,03						
22CP0085	2	224.150	509.410	888			-0,19	0,03				
22CP0089	1	222.840	508.208	946	-0,19	0,03						
22CP0089	2	222.840	508.208	946			-0,22	0,03				
22CL9012	1	224.683	508.177	1.126	-0,09	0,04						
22CP0108	1	222.566	509.007	1.154	-0,09	0,03						
22CP0108	2	222.566	509.007	1.154			-0,09	0,04				
22CP0111	1	225.003	508.833	1.345	-0,08	0,05						
22CP0111	2	225.003	508.833	1.345	-0,06	0,05						
22CP0111	3	225.003	508.833	1.345			-0,08	0,05				
22CP0130	1	223.956	510.033	1.398	-0,06	0,03						
22CP0130	2	223.956	510.033	1.398			-0,06	0,03				
22CP0130	3	223.956	510.033	1.398			-0,05	0,03				
22CP0130	4	223.956	510.033	1.398					-0,26	0,02		
22CP0130	5	223.956	510.033	1.398					-0,25	0,02		
22CP0130	6	223.956	510.033	1.398							-0,24	0,02

Wordt vervolgd op volgende pagina.

Tabel 10.1: Vervolg.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1a		Wvp1b		Wvp2a		Wvp2b	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(3,1 miljoen m³/j)							
22CL9013	1	223.530	507.267	1.404	-0,10	0,04						
22CP0138	1	223.836	507.212	1.463	-0,07	0,04						
22CP0138	2	223.836	507.212	1.463			-0,12	0,03				
22CP0138	3	223.836	507.212	1.463					-0,25	0,03		
22CP0138	4	223.836	507.212	1.463					-0,25	0,03		
22CP0086	1	224.560	510.002	1.607	-0,05	0,03						
22CP0086	2	224.560	510.002	1.607			-0,03	0,03				
22CP0113	1	223.120	510.263	1.689	0,00	0,02						
22CP0113	2	223.120	510.263	1.689			0,00	0,02				
22CP0132	3	224.824	507.415	1.703			-0,15	0,04				
22CP0132	4	224.824	507.415	1.703					-0,16	0,03		
22CP0132	5	224.824	507.415	1.703					-0,15	0,03		
22CP0132	6	224.824	507.415	1.703							-0,15	0,03
22CP0068	1	222.195	507.735	1.742	-0,04	0,04						
22CP0068	2	222.195	507.735	1.742			-0,07	0,02				
22CP0068	3	222.195	507.735	1.742					-0,22	0,02		
22CP0068	4	222.195	507.735	1.742							-0,18	0,02
22CP0068	5	222.195	507.735	1.742							-0,20	0,02
22CP0128	1	225.361	509.281	1.801	0,01	0,04						
22CP0128	2	225.361	509.281	1.801			0,00	0,04				
22CP0128	3	225.361	509.281	1.801					-0,15	0,03		
22CP0128	4	225.361	509.281	1.801							-0,15	0,03
22CP0128	5	225.361	509.281	1.801							-0,16	0,03
22CP0128	6	225.361	509.281	1.801							-0,15	0,03
22CP0128	7	225.361	509.281	1.801							-0,15	0,03
22CP0107	1	221.770	508.711	1.898	0,02	0,02						
22CP0107	2	221.770	508.711	1.898			0,02	0,02				
22CP0112	1	224.437	506.872	1.951	-0,04	0,05						
22CP0134	1	221.127	509.572	2.698	0,03	0,02						
22CP0134	2	221.127	509.572	2.698			0,05	0,02				
22CP0134	3	221.127	509.572	2.698					-0,09	0,02		
22CP0134	4	221.127	509.572	2.698					-0,12	0,02		
22CP0135	1	223.980	511.699	3.050	-0,01	0,04						
22CP0135	2	223.980	511.699	3.050			0,00	0,04				
22CP0135	3	223.980	511.699	3.050			0,00	0,04				

Wordt vervolgd op volgende pagina.

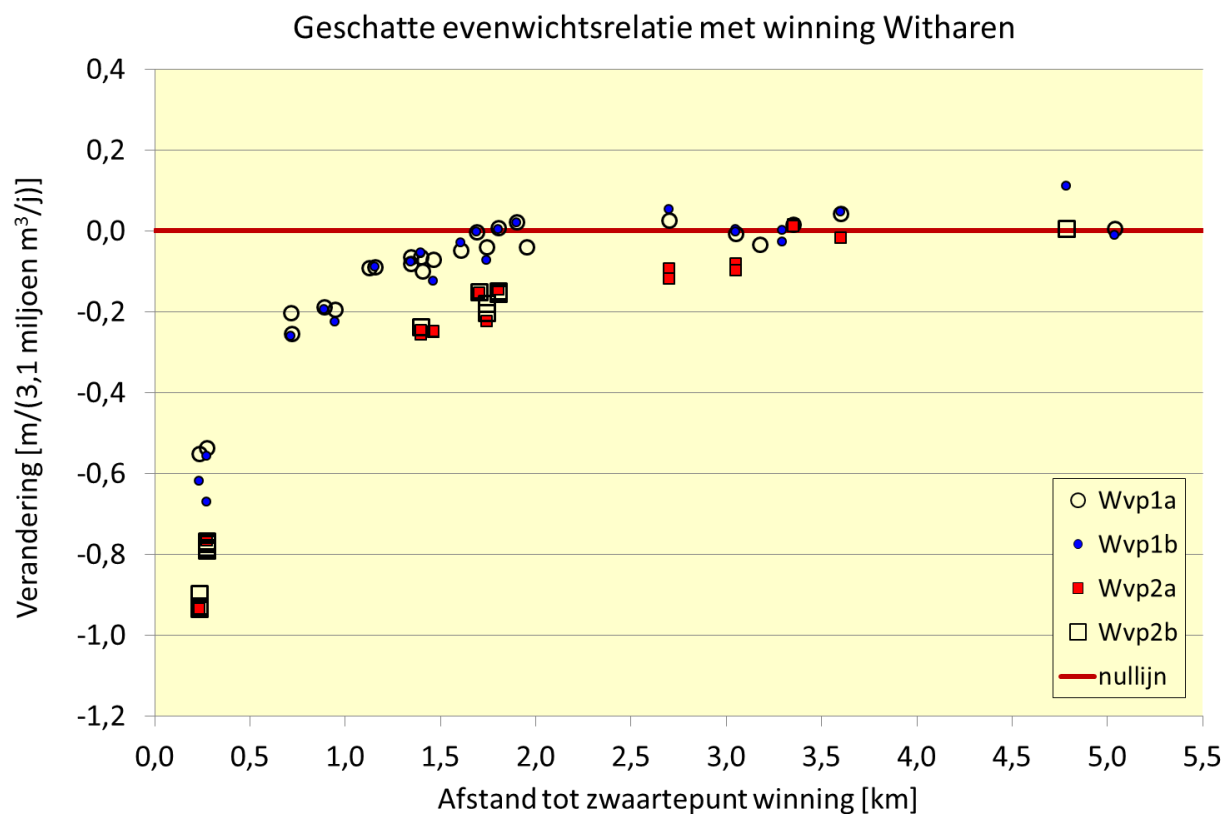
Tabel 10.1: Vervolg.

Peilbuis	Filt	Coördinaten		Af-stand (m)	Wvp1a		Wvp1b		Wvp2a		Wvp2b	
		X	Y		Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft	Evrel	Stft
		(m)	(m)		m/(3,1 miljoen m³/j)							
22CP0135	4	223.980	511.699	3.050			-0,08	0,02				
22CP0135	5	223.980	511.699	3.050					-0,08	0,02		
22CP0135	6	223.980	511.699	3.050					-0,10	0,02		
22CP9001	1	222.613	505.670	3.175	-0,03	0,04						
22CP0082	1	226.688	507.345	3.296			0,00	0,03				
22CP0082	3	226.688	507.345	3.296			-0,03	0,03				
22CP0078	1	225.982	506.242	3.351	0,02	0,04						
22CP0078	2	225.982	506.242	3.351			0,01	0,04				
22CP0078	3	225.982	506.242	3.351			0,02	0,04				
22CP0078	4	225.982	506.242	3.351			0,01	0,04				
22CP0078	5	225.982	506.242	3.351					0,02	0,04		
22CP0078	6	225.982	506.242	3.351					0,01	0,04		
22CP0136	1	227.250	509.004	3.598	0,04	0,03						
22CP0136	2	227.250	509.004	3.598			0,05	0,03				
22CP0136	3	227.250	509.004	3.598					-0,02	0,03		
22AP0117	1	221.679	513.016	4.784			0,11	0,02				
22AP0117	2	221.679	513.016	4.784							0,01	0,02
22CP0142	1	226.691	504.633	5.039	0,01	0,04						
22CP0142	3	226.691	504.633	5.039			-0,01	0,05				

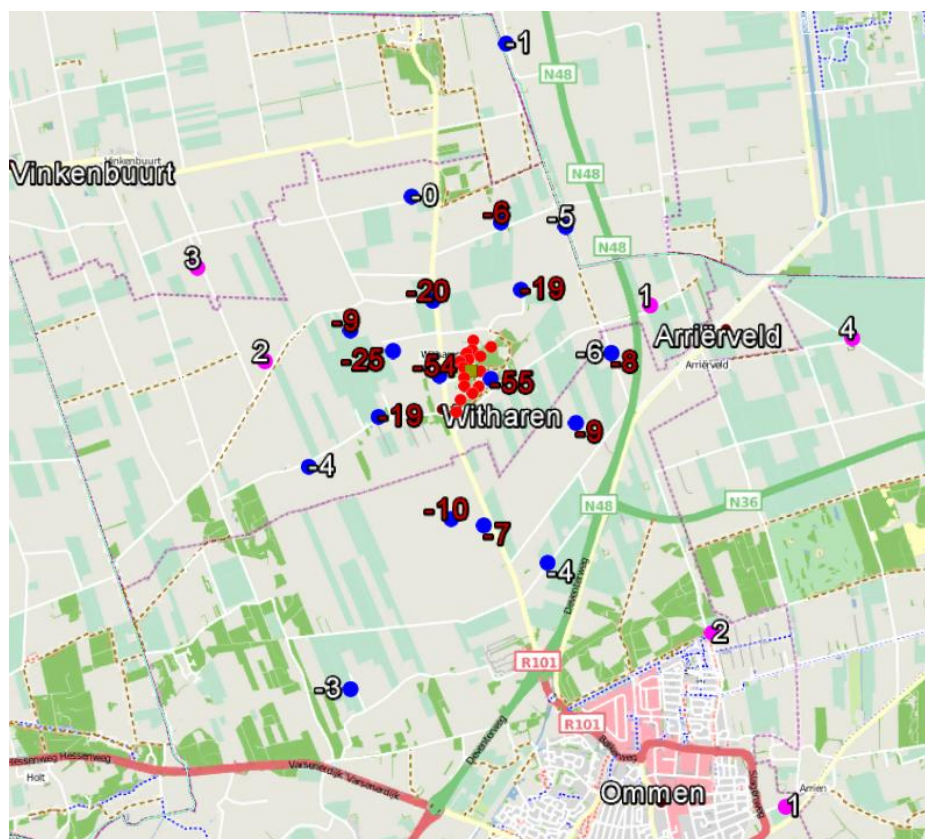
Toelichting

-0,23	statistisch significant negatief
0,10	statistisch significant positief (fysisch onlogisch)

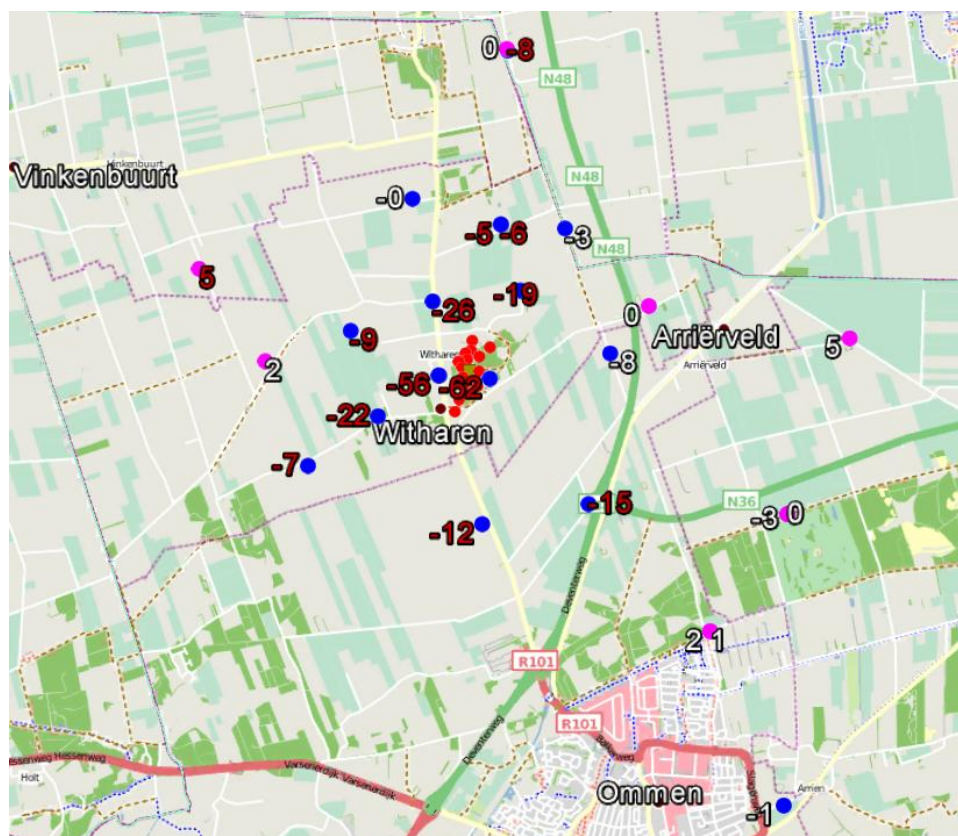
Figuur 10.5: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand met de winning Witharen, bij een stationaire winning van 3,1 miljoen m³/j, uitgezet tegen de afstand tot het zwaartepunt van de winning.



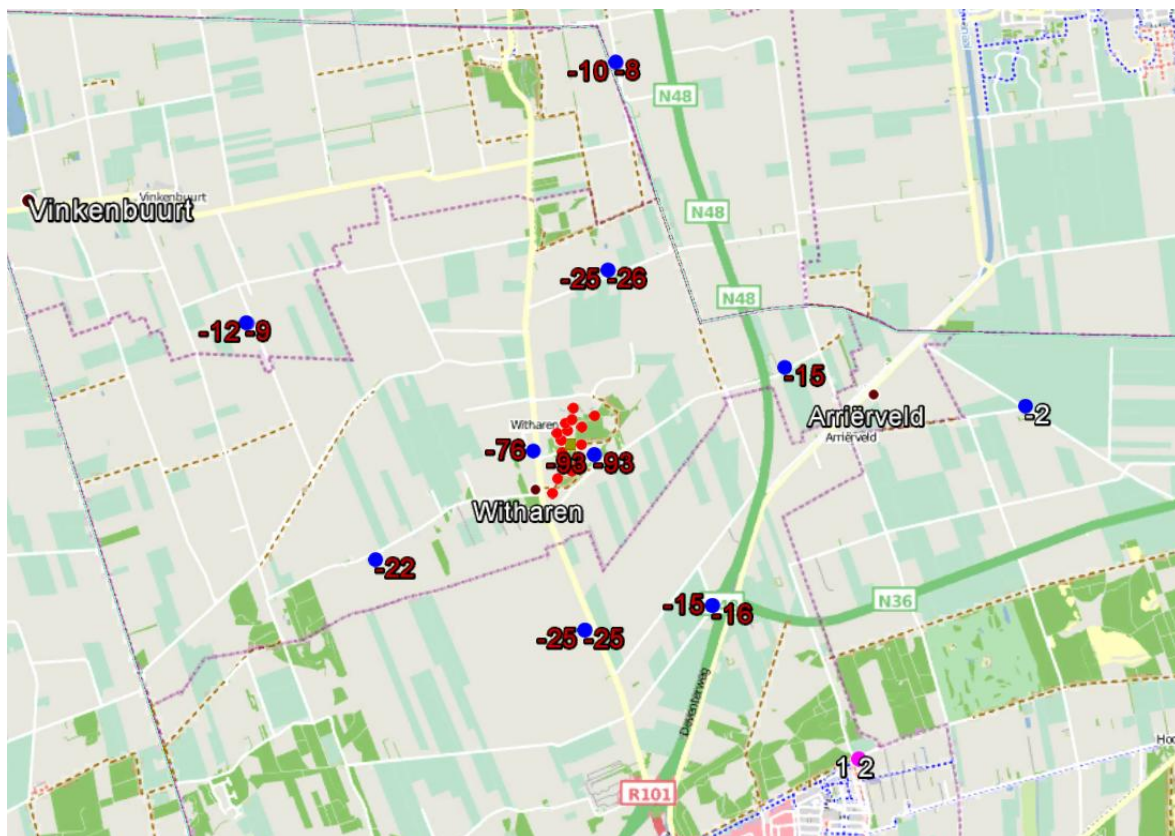
Kaart 10.1: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1a met de winning Witharen, in cm/(3,1 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



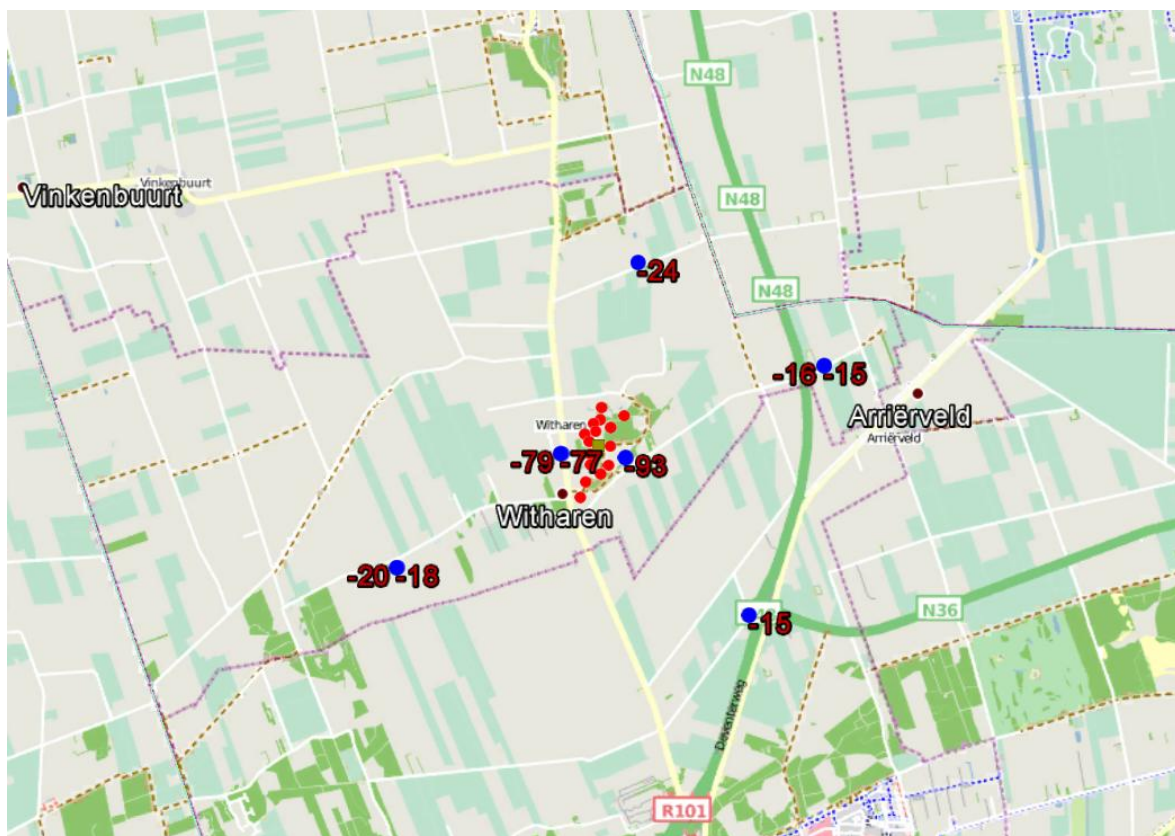
Kaart 10.2: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp1b met de winning Witharen, in cm/(3,1 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 10.3: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp2a met de winning Witharen, in cm/(3,1 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



Kaart 10.4: Met tijdreeksmodellering geschatte evenwichtsrelatie van de grondwaterstand in wvp2b met de winning Witharen, in cm/(3,1 miljoen m³/j). Zie de bijlage voor de kaartlegenda.



De belangrijkste conclusies die we kunnen trekken uit tabel 10.1, figuur 10.5 en de kaarten 10.1 t/m 10.4 zijn de volgende.

- Van de 89 geschatte evenwichtsrelaties met de winning Witharen zijn er 58 statistisch significant, waarvan 56 negatief.
- De grootste geschatte verandering van de grondwaterstand is $-0,93 \text{ m}/(3,1 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar})$, zowel in twee peilfilters in wvp2a als in twee peilfilters in wvp2, alle in een peilbuis op 232 meter van het zwaartepunt van de winning.
- De verlagingen in wvp1a en wvp1b zijn doorgaans van vergelijkbare grootte, evenals die in wvp2a en wvp2b. Alleen vlakbij de winning (op minder dan 300 meter afstand) zijn de verlagingen in de winpakketten (wvp1b en wvp2a) enigszins groter.
- De verlagingen in wvp2a en wvp2b zijn doorgaans duidelijk groter dan die in wvp1a en wvp1b.
- Het totaalbeeld is dat van twee (of nabij de winning zelfs vier) duidelijke verlagingskegels. Dit zal vooral komen doordat de modelperiode een grote en snelle verandering van de winning omvat, wat een groot onderscheidend vermogen oplevert.
- Volgens deze resultaten strekt de invloed van de winning zich bij $3,1 \text{ miljoen m}^3/\text{jaar}$ vermoedelijk circa 2,5 km uit in wvp1 en circa 3,5 km in wvp2.

11 Gebruiken van de verlagingsbeelden

Zoals aangegeven in de inleiding (§ 1.1) kan een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld dienen om de door een grondwatermodel berekende effecten van een drinkwaterwinning objectief op waarde te beoordelen. Hoe dat gedaan moet worden is echter niet triviaal, zodat we daar in dit hoofdstuk enkele adviezen over geven. Daartoe bespreken we eerst de specifieke kenmerken van een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld, die de gebruiksmogelijkheden en -beperkingen van dat beeld bepalen (§ 11.1). De adviezen volgen dan in § 11.2.

11.1 Specifieke kenmerken empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld

Elk empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld heeft een aantal specifieke kenmerken, die de gebruiksmogelijkheden en -beperkingen van dat beeld bepalen. Deze kenmerken zijn:

1. het betreft een stationair verlagingsbeeld dat geldt voor een specifieke winningstoename vanaf een specifiek winningsniveau (zie tabel 11.1). We kunnen er immers niet zondermeer van uitgaan dat lineaire extrapolatie (en superpositie) overal en altijd gerechtvaardigd is;
2. het beeld geldt voor een specifieke periode (zie tabel 11.1), met de voor die periode kenmerkende:
 - a. hydrologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
 - b. ruimtelijke configuratie van pompputten;
 - c. onttrekkingsregiems van de afzonderlijke pompputten;
 - d. ruimtelijke en temporele veranderingen van het zwaartepunt van de winning;
3. de gereconstrueerde puntverlagingsen zijn geen metingen, maar schattingen, die derhalve gepaard gaan met onzekerheden. Deze onzekerheden zijn doorgaans verschillend en bovendien zullen de schattingen vaak onderling afhankelijk zijn, omdat er meestal sprake is van gemeenschappelijke foutenbronnen (zoals het onvolledig verdisconteren van niet-lineaire relaties met invloedsfactoren of een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning).

Tabel 11.1 vermeldt voor elk van de zeven drinkwaterwinningen zowel de modelperiode waarover het verlagingsbeeld is afgeleid, als het minimum, het maximum en het daaruit volgende bereik van de winningsgrootte over de modelperiode.

Tabel 11.1: Voor elk van de zeven drinkwaterwinningen de modelperiode waarover het verlagingsbeeld is afgeleid, het minimum, het maximum en het daaruit volgende bereik van de winningsgrootte over de modelperiode, de vergunde hoeveelheid winning en de ratio van dat winningsbereik en de vergunde hoeveelheid.

Winning	Model-periode		Winning modelperiode			Vergund	Bereik / Vergund
	Start	Eind	Min	Max	Bereik (miljoen m ³ /j)		
Archemerberg	1978	2012	2,6	3,8	1,2	4,0	30%
Goor	1976	2013	0,8	1,5	0,7	1,5	47%
Hasselo	1980	2012	0,5	0,9	0,4	0,69	58%
Herikerberg	1975	2013	2,7	4,2	1,5	4,0	38%
Nijverdal	1980	2012	4,1	6,1	2,0	6,0	33%
Wierden	1980	2012	5,0	8,5	3,5	8,0	44%
Witharen	1997	2013	1,9	5,0	3,1	5,0	62%

De laatste kolom van tabel 11.1 vermeldt de ratio van het winningsbereik over de modelperiode en de vergunde hoeveelheid. Daaruit blijkt dat voor geen van de beschouwde winningen de verlagingskegel kon worden afgeleid die hoort bij de vergunde winningsgrootte. Dit komt doordat er geen of onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de tijdreeksmodellering uit te voeren over een periode die ook de start van de winning omvat.

Voor vijf van de zeven winningen geldt het gereconstrueerde verlagingsbeeld voor een winningsbereik dat minder dan 50% bedraagt van de vergunde winningsgrootte. Alleen voor de winningen Hasselo en Witharen kon een verlagingsbeeld worden gereconstrueerd dat geldt voor een winningsbereik dat meer dan 50% bedraagt van de vergunde winningsgrootte, namelijk respectievelijk 58% en 62%.

11.2 Gebruiksadviezen empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld

Uitgaande van de hierboven beschreven specifieke kenmerken van een empirisch gereconstrueerd verlagingsbeeld kunnen we enkele adviezen geven over hoe een dergelijk beeld te gebruiken om de door een grondwatermodel berekende effecten van een drinkwaterwinning objectief op waarde te beoordelen. Voor specifiekere adviezen over hoe een grondwatermodel te ijken of te valideren met een dergelijk beeld verwijzen we verder naar [Boukes en Baggelaar, 2014].

Zie er op toe dat de omstandigheden vergelijkbaar zijn

Het vergelijken van een door een grondwatermodel berekend verlagingsbeeld met het empirisch gereconstrueerde verlagingsbeeld is alleen zinvol als beide betrekking hebben op dezelfde omstandigheden. Dit betreft:

1. het winningsbereik (minimale en maximale winning) van de modelperiode (zie tabel 11.1);
2. de volgende kenmerkende omstandigheden van de in tabel 11.1 vermelde modelperiode:
 - e. de hydrologische, meteorologische en waterhuishoudkundige omstandigheden;
 - f. de ruimtelijke configuratie van pompputten;
 - g. de onttrekkingsregiems van de afzonderlijke pompputten;
 - h. de ruimtelijke en temporele veranderingen van het zwaartepunt van de winning.

Houd rekening met onzekerheden en onderlinge afhankelijkheden van geschatte verlagingen

Houd er rekening mee dat de empirisch gereconstrueerde verlagingen geen metingen zijn, maar schattingen, die niet alleen verschillende onzekerheden zullen hebben, maar vermoedelijk ook onderling afhankelijk zullen zijn. Specifieke adviezen over hoe hier mee om te gaan bij het ijken of valideren van een grondwatermodel zijn te vinden in § 3.4 van [Boukes en Baggelaar, 2014]. Het onderstaande advies uit dat rapport heeft betrekking op het gebruiken van een empirisch geschat verlagingsbeeld om een grondwatermodel te ijken.

Als een empirisch geschat verlagingsbeeld wordt uitgewerkt tot bodemparameters, dienen we te verdisconteren dat de onzekerheden van de geschatte verlagingen kunnen verschillen. Dit kan met een gewogen optimalisatie, wat inhoudt dat wordt geoptimaliseerd naar het minimum van de som van de gekwadrateerde verschillen tussen de met tijdreeksanalyse geschatte verlagingen en de met een grondwatermodel berekende verlagingen, na studentiseren. Het studentiseren houdt in dat een verschil wordt gedeeld door de standaardfout van de met tijdreeksanalyse geschatte verlaging. Hierdoor zal een afwijking van een nauwkeurig geschatte verlaging (gekenmerkt door kleine

standaardfout van de schatting) zwaarder worden meegewogen bij het optimaliseren dan die van een onnauwkeurig geschatte verlaging (gekenmerkt door grote standaardfout van de schatting). Maar we moeten er ook rekening mee houden dat de geschatte verlagingen onderling afhankelijk zijn, bijvoorbeeld door het onvolledig verdisconteren van niet-lineaire relaties, een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning, of andere lastig te modelleren (lokale) invloeden op de grondwaterstand. Deze onderlinge afhankelijkheid 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 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 de volgende stappen:

1. trek uit elke kansverdeling van de verlaging één realisatie van de verlaging, waarbij rekening wordt gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van de geschatte verlagingen van verschillende grondwaterstandreeksen;
2. schat op basis van het uit stap 1 resulterende verlagingsbeeld de bodemparameters, bijvoorbeeld met de hierboven genoemde gewogen optimalisatie;
3. herhaal bovenstaande stappen een groot aantal maal (zoals 1.000-maal of meer)
4. stel dan zowel de kansverdeling vast van elke bodemparameter, als de onderlinge afhankelijkheid van de geschatte bodemparameters.

De hiervoor benodigde onderlinge afhankelijkheid van de geschatte verlagingen van verschillende grondwaterstandreeksen is doorgaans echter niet bekend. We zullen deze dan moeten ramen op basis van expertise, of een soort ‘worst-case’-scenario uitwerken, met volledige onderlinge afhankelijkheid.

Als het aannemelijk is dat een geschatte verlaging van vlak bij de winning vertekend is door de invloed van een naastgelegen pompput, of door de invloed van een verplaatsing van het zwaartepunt van de winning, dan kan dit worden verdisconteerd door deze verlaging minder gewicht toe te kennen bij het schatten van de parameters.

12 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. (2003): *Statistische reconstructie effect stoppen winning Denekamp op grondwaterstanden in de omgeving*. Icastat, december 2003, 44 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. (2004): *Invloed stopzetten deelwinningen Losser op grondwaterstanden*. Icastat en AMO, september 2004, 64 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. (2008): *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. (2008): *Reconstructie invloed grondwaterwinning Losser op grondwaterstanden*. Icastat, EcoQuest en AMO, december 2008, 152 blz.

Baggelaar, P.K., Van der Meulen, E.C.J. en Boukes H. (2015): *Definitiestudie verlagingsbeelden Overijsselse drinkwaterwinningen*. Icastat, AMO en Adviesburo Harry Boukes, 10 september 2015, 110 blz.

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Holden Day, San Francisco.

Boukes, H. en Baggelaar, P.K. (2014): *Naar betrouwbare en bruikbare bodemparameters Overijsselse drinkwaterwinningen*. Adviesburo Harry Boukes en Icastat, 29 december 2014, 67 blz.

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.

Ljung, G.M and Box, G.E.P (1978): *On a measure of lack of fit in time series models*. Biometrika, 65, blz. 297 – 303.

Provincie Overijssel, 2009 of 2010: *Gebiedsdossiers (kwetsbare) drinkwatervoorzieningen Overijssel - Deel 2*. Provincie Overijssel (Eenheid Water en Bodem), Royal Haskoning en Vitens. Rapporten:

- *Archemerberg*, november 2009, 21 blz.
- *Herikerberg/Goor*, november 2009, 28 blz.
- *Hasselo*, december 2010, 26 blz.
- *Hoge Hexel*, januari 2010, 24 blz.
- *Nijverdal*, december 2010, 25 blz.
- *Wierden*, november 2009, 24 blz.
- *Witharen*, december 2010, 25 blz.

Provincie Overijssel (2013): *Het Wierdense Veld*. Advies van de Commissie van Deskundigen. Provincie Overijssel en Ministerie van Economische Zaken, Kennisnetwerk OBN, 3 september 2013, 79 blz.

Rolf, H.L.M. (1989): *Daling van de Nederlandse grondwaterstand, fase II: Case-studie Eindhoven verbonden met ingrepen*. Rapport no. OS 89-14, DGV-TNO.

Van der Meulen, E.C.J. (2007): *Handleiding Tijdreeksanalist*. AMO Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie, Hengelo.

Vitens (2002a): *Berekening putonttrekkingen*. Rapport 02Vrts101-Brf, Marcel Boerefijn, Afdeling Strategie en Grondstof, 12 november 2002, 20 blz.

Vitens (2002b): *Berekening putonttrekkingen in het digitale weekrapport*. Werkvoorschrift (versie 1), Marcel Boerefijn, 12 november 2002, 6 blz.

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.

Bijlage: Toelichting op de kaarten met verlagingsbeelden

-  Pompput drinkwaterwinning
-  Zwaartepunt drinkwaterwinning
-  Peilfilter waarvoor verlaging grondwaterstand is geschat
-  Peilfilter waarvoor verhoging grondwaterstand is geschat
-  Geschatte verandering grondwaterstand (cm/winningsgrootte)
-  Statistisch significant geschatte verandering grondwaterstand (cm/winningsgrootte)

Als een peilbuis meerdere filters heeft in hetzelfde watervoerende pakket, dan zijn minimum en maximum vermeld van de geschatte veranderingen van de grondwaterstand (cm/winningsgrootte)