

Advies betreffende de hydrologische impact van de grondwaterwinning te Balen-Nete

Nummer:	INBO.A.2012.53
Datum advisering:	11 februari 2013
Auteurs:	Floris Vanderhaeghe, Piet De Becker & Jan Wouters
Contact:	Lon Lommaert (lon.lommaert@inbo.be)
Kenmerk aanvraag:	e-mail op datum van 1 maart 2012
Geadresseerden:	Agentschap voor Natuur en Bos T.a.v. Hildegarde Quintens Provinciale dienst Antwerpen Lange kievitstraat 111-113 bus 63 2018 Antwerpen hildegarde.quintens@lne.vlaanderen.be
Cc:	Agentschap voor Natuur en Bos Martine.Waterinckx@lne.vlaanderen.be

AANLEIDING

In de gemeente Balen is een grondwaterwinning van de PIDPA gelegen. Deze winning is gesitueerd in habitatrictlijngebied (BE2100040: Vallei van de Grote Nete met Zammelsbroek, Langdonken en Goor). In 2006 werd voor de winning een milieu(her)vergunning op proef afgeleverd waarbij aan een aantal bijzondere voorwaarden voldaan moest worden.

Een definitieve vergunning, afgeleverd in 2008, werd na een procedure bij de raad van State vernietigd op 3 februari 2011 omdat aan deze bijzondere voorwaarden onvoldoende invulling was gegeven.

In februari 2012 werd door de PIDPA een nieuwe vergunning verkregen en werd de winning heropgestart.

Als gevolg van het bovenstaande stonden de pompen van de grondwaterwinning uit van 11 februari 2011 tot en met 15 januari 2012 (e-mail van ANB).

VRAAGSTELLING

In het gebied wordt langdurig en met regelmaat een aantal ondiepe piëzometers opgemeten. Is er een betekenisvolle wijziging in de grondwaterdynamiek opgetreden die toegeschreven moet worden aan de inactiviteit van de winning?

TOELICHTING

1. Opzet

Het hoofddoel van dit advies is om een eventueel effect van de grondwaterwinning te kunnen inschatten op basis van geobserveerde tijdsreeksen van grondwaterpeilen. Geobserveerde grondwaterpeilen zijn het resultaat van alle mogelijke factoren die dit peil bepalen. Om een eventueel effect van de grondwaterwinning te kunnen schatten, is het belangrijk om na te gaan hoe het grondwaterpeil in ondiepe piëzometers op elke locatie wordt beïnvloed door andere factoren dan de grondwaterwinning zelf. In de analyse in dit advies worden daarom de belangrijkste variabelen (predictoren) betrokken waarvan verwacht kan worden dat ze het grondwaterpeil (freatische stijghoogte) op een specifieke locatie beïnvloeden:

- netto neerslag (grondwateraanvulling), berekend uit het verschil tussen neerslag en evapotranspiratie;
- het uit staan van de grondwaterwinning van 11 februari 2011 tot en met 15 januari 2012;
- de gemiddelde vormkenmerken van het jaarregime van het grondwaterpeil op elke meetlocatie (het typische regime van elke piëzometer). Dit integreert alle andere geohydrologische en ruimtelijke factoren - uitgezonderd het verschil tussen aan- en af staan van de winning - die het seizoenale patroon (vorm en amplitude) van het peilregime op een bepaalde plaats bepalen. Analytisch is dit gespecificeerd als de interactie tussen tijdstip in het jaar en de piëzometer (zie 3.1). Eén van deze hierin geïntegreerde factoren betreft het peilbeheer van het oppervlaktewater (dit wordt uitgemiddeld per piëzometer; zie verder).

De relatie tussen de bovenstaande variabelen en het grondwaterpeil zijn zowel grafisch als via een statistische modeltechniek in beeld gebracht. Als modeltechniek is geopteerd voor een GAM (generalized additive model). Dit is een bijzonder type regressiemodel, omdat hierin een piëzometerspecifieke smoothing term kan worden gespecificeerd om het gemiddelde seizoenale patroon te isoleren uit elke meetreeks. Voorts berekent dit model voor elke piëzometer het locatiespecifieke effect van netto neerslag bovenop het gemiddelde seizoenale patroon. Hierdoor is het mogelijk om voor elke piëzometer de

peilschommelingen als gevolg van tijdstip en weercondities te parametriseren met het model. In het model wordt tevens een categorische factor 'winning' opgenomen, die de peilmetingen labelt volgens periode: tot 10/02/2011 (winning aan) en vanaf 11/02/2011 (winning af). Door deze werkwijze te volgen, zal de factor 'winning' per piëzometer een eventueel effect van de grondwaterwinning isoleren uit de tijdsreeks waarbij voor de weer- en seizoensspecifieke effecten reeds is gecontroleerd.

Doordat de factor 'winning' in de tijd is gedefinieerd, is het belangrijk om na te gaan in welke mate deze is gecorreleerd met netto neerslag, omdat anders een risico bestaat op verwarring tussen enerzijds effect van winning en anderzijds effect van netto neerslag. Hetzelfde geldt voor correlatie van winning met andere geohydrologische veranderingen in de tijd, in het bijzonder het peilbeheer van het oppervlaktewater.

In het geval dat hydrologisch significante effecten van de grondwaterwinning worden vastgesteld bij één of meer piëzometers (bij $P < 0.05$), wordt dit nader getoetst aan de vereisten van vegetatietypes, om de ecologische relevantie van eventuele effecten te kunnen vaststellen.

2. Overzicht en grafische analyse van de gebruikte gegevens

2.1 Herkomst van de gegevens

2.1.1 Klimatologische data

Het INBO heeft van het KMI neerslagdata in mm bekomen van het nabijgelegen meetstation Retie, voor de periode 2004 tot en met 2011. Van de potentiële evapotranspiratie heeft het KMI voor deze periode geen data ter beschikking. Daarvoor zijn de gegevens van het KNMI-meetstation Eindhoven gebruikt (station 370). Netto neerslag per dag is berekend als neerslag min potentiële evapotranspiratie.

2.1.2 Grondwaterpeilen

De stijghoogtegegevens van ondiepe piëzometers van het Scheps zijn bekomen van het Agentschap voor Natuur en Bos en de Vlaamse Milieumaatschappij. Hiermee is een update doorgevoerd aan de INBO-grondwaterdatabank Watina, waarbij ook kwaliteitscontroles zijn gebeurd bij het invoeren. Voor de voorliggende analyse is dan ook gewerkt met data, geëxtraheerd uit de Watina-databank.

Voor de vraagstelling kwamen enkel meetreeksen van ondiepe piëzometers in aanmerking die tot en met 2011 goed ingevuld zijn; dit waren er voor dit gebied 41 (*Fig. 1*). Daarbij is een ondiepe piëzometer gedefinieerd door een filterbasis op minder dan 5 meter onder maaiveld. Omdat van sommige piëzometers enkel in meter TAW gegevens beschikbaar waren, is geopteerd om met meter TAW gegevens te werken voor het model. Voor ecologische interpretatie is evenwel gebruik gemaakt van peilen ten opzichte van maaiveld. Piëzometer SCPP021 (reeksen A en X) is geweerd omdat deze in 2011 geen goed contact meer had met het grondwater, wat het aantal op 39 brengt. Op basis van de dataverkenning (zie 2.3) is een verdere subselectie gemaakt, omdat alleen piëzometers met een voldoende lange tijdreeks in aanmerking komen om het effect van de winning los te koppelen van andere locatiegebonden en van klimatologische effecten. Het betreft 24 uiteindelijk weerhouden piëzometers voor de modellering (*Fig. 1*). De lijst van piëzometers is opgenomen in Bijlage 1. Omdat de klimatologische meetreeks betrekking heeft op de periode 2004 tot en met 2011, is ook voor de grondwaterpeilen de analyse gebeurd met de data van dezelfde periode.

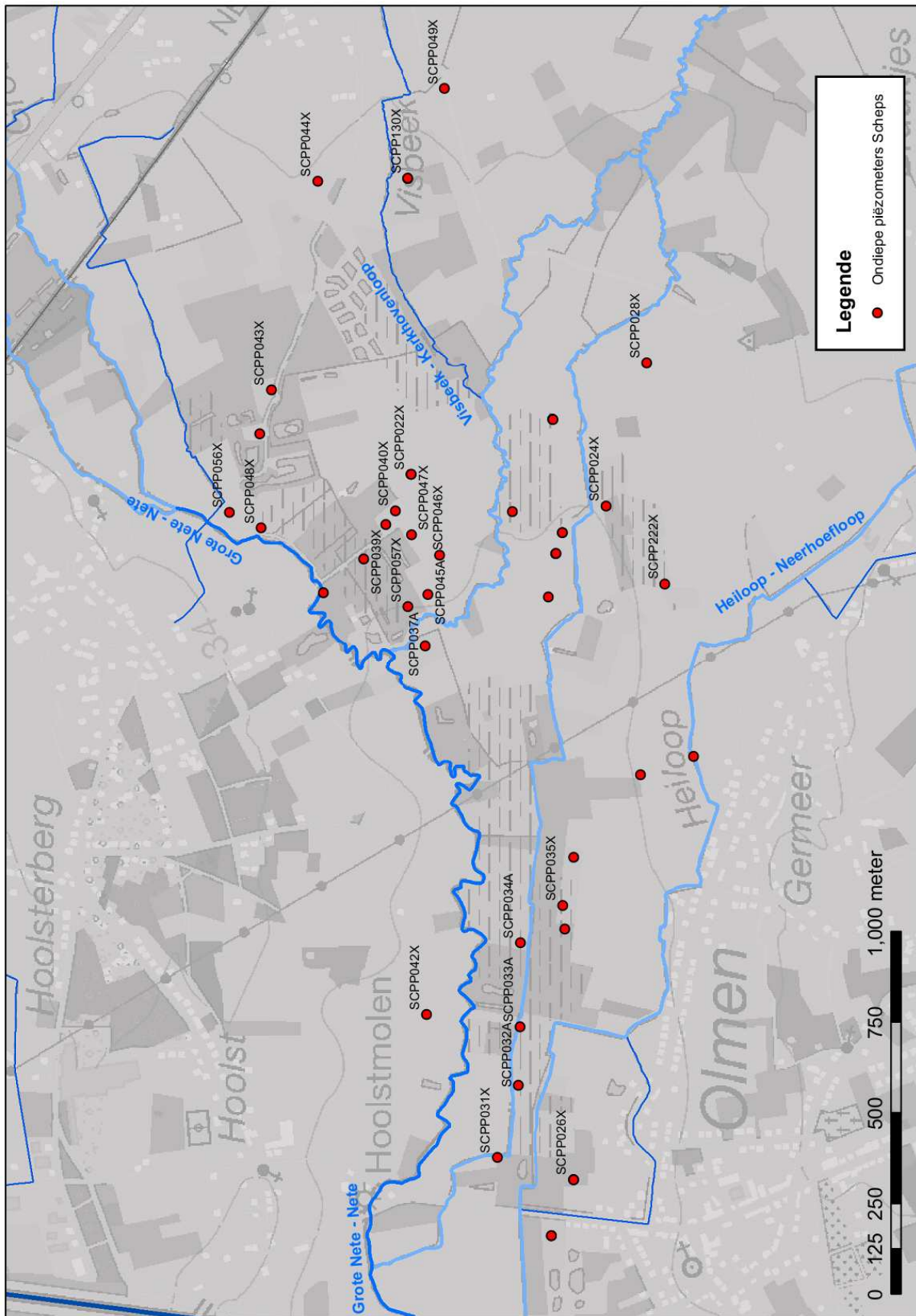


Fig. 1. Ligging van ondiepe piëzometers in het Scheps waarvan tot en met 2011 metingen aanwezig zijn. De 24 op kaart gelabelde piëzometers zijn weerhouden voor analyse wegens de aanwezigheid van een voldoende lange tijdreeks.

2.2 Samenstelling van de dataset voor analyse

De in 2.1 vermelde gegevens zijn gegevens op dagniveau. Piëzometers verschillen onderling aanzienlijk in tijdsresolutie van gegevens: in bepaalde gevallen gaat het om dagelijkse metingen op basis van automatische loggers, in andere gevallen gaat het om tweewekelijkse manuele metingen. Bij het werken met een dagresolutie stelt zich ook een ander probleem, namelijk dat bij het modelleren van grondwaterpeilen met een regressiemodel op dagresolutie ook locatie- en tijdsafhankelijke vertragingseffecten kunnen worden verwacht. Dit kan worden benaderd met meer complexe technieken, hetzij via regressie (met temporele autocorrelatie en een lag-component), hetzij met een tijdsafhankelijk grondwatermodel.

Omdat voor dit advies geopteerd is voor een eenvoudige benadering van de probleemstelling, zijn de voorgaande complexiteiten ondervangen door een analyse uit te voeren op maandresolutie. Voorts werden voor de leesbaarheid de meter TAW peilen gecentreerd rond het gemiddelde van de reeks van elke piëzometer (dit gemiddelde wordt dus gelijkgesteld aan nul; de intervallschaal in meter blijft). Deze transformatie heeft voor het regressiemodel enkel gevolgen voor het intercept, niet voor de geschatte coëfficiënten en dus niet voor de interpretatie van de resultaten.

Finaal is een dataset bekomen met als variabelen:

- piëzometer;
- jaar (2004 - 2011);
- maand (1 - 12);
- netto neerslag (gesommeerd per maand, in mm);
- grondwaterpeil (gemiddeld per maand);
- winning (zie onder).

Februari 2011 is uit deze dataset geweerd, omdat deze maand niet gelabeld kan worden met winning 'aan' of 'af' daar de winning is afgezet op 16/02/2011. De variabele 'winning' is 0 wanneer de winning af staat (binnen deze dataset: maart 2011 – december 2011) en 1 wanneer de winning aan staat (de overige maanden binnen de dataset).

2.3 Data-exploratie

2.3.1 Kenmerken van de gegevenssets

De netto-neerslag voor 2004-2011 is weergegeven in *Fig. 2* en *Fig. 3*. Hieruit is af te leiden dat er aanzienlijke klimatologische verschillen bestaan tussen de verschillende jaren. In het bijzonder is te zien dat 2005 en 2009 een netto neerslagtekort vertonen, en 2010 en 2011 een gering netto neerslagoverschot. De overige jaren hebben een groter neerslagoverschot.

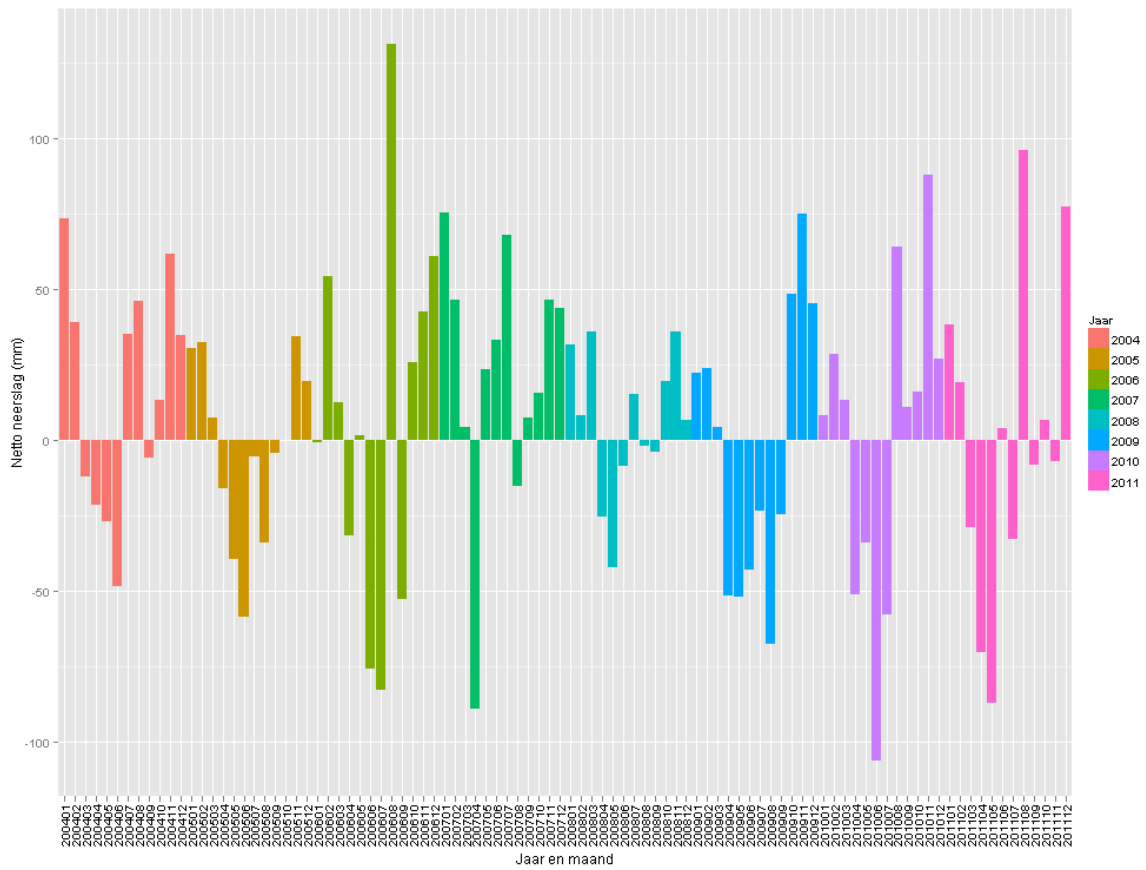


Fig. 2. Netto-neerslag per maand (2004-2011).

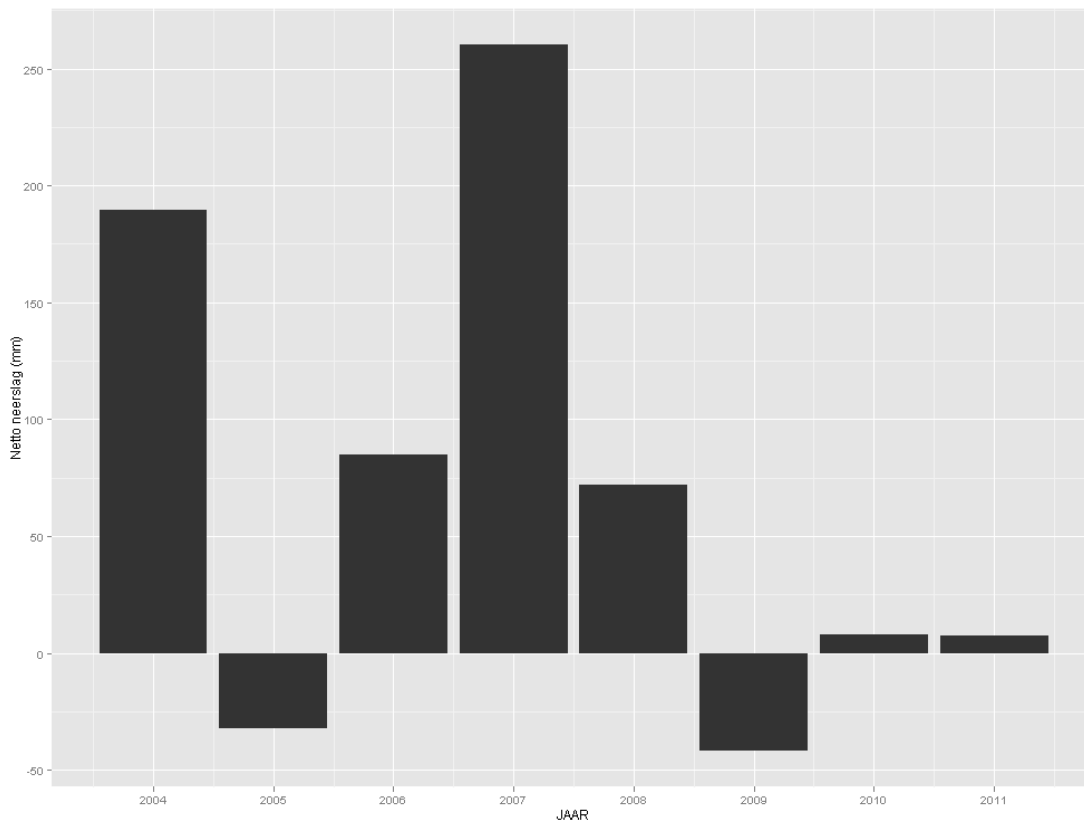


Fig. 3. Netto-neerslag per jaar (2004-2011).

De mate waarin de mTAW-meetreeksen van de piëzometers de verschillende maanden dekken in de periode 2004 tot 2011, is weergegeven in Fig. 4 en Fig. 5. Deze vormen de reden waarom is gekozen voor de selectie van de 24 piëzometers in Fig. 5 voor verdere analyse.

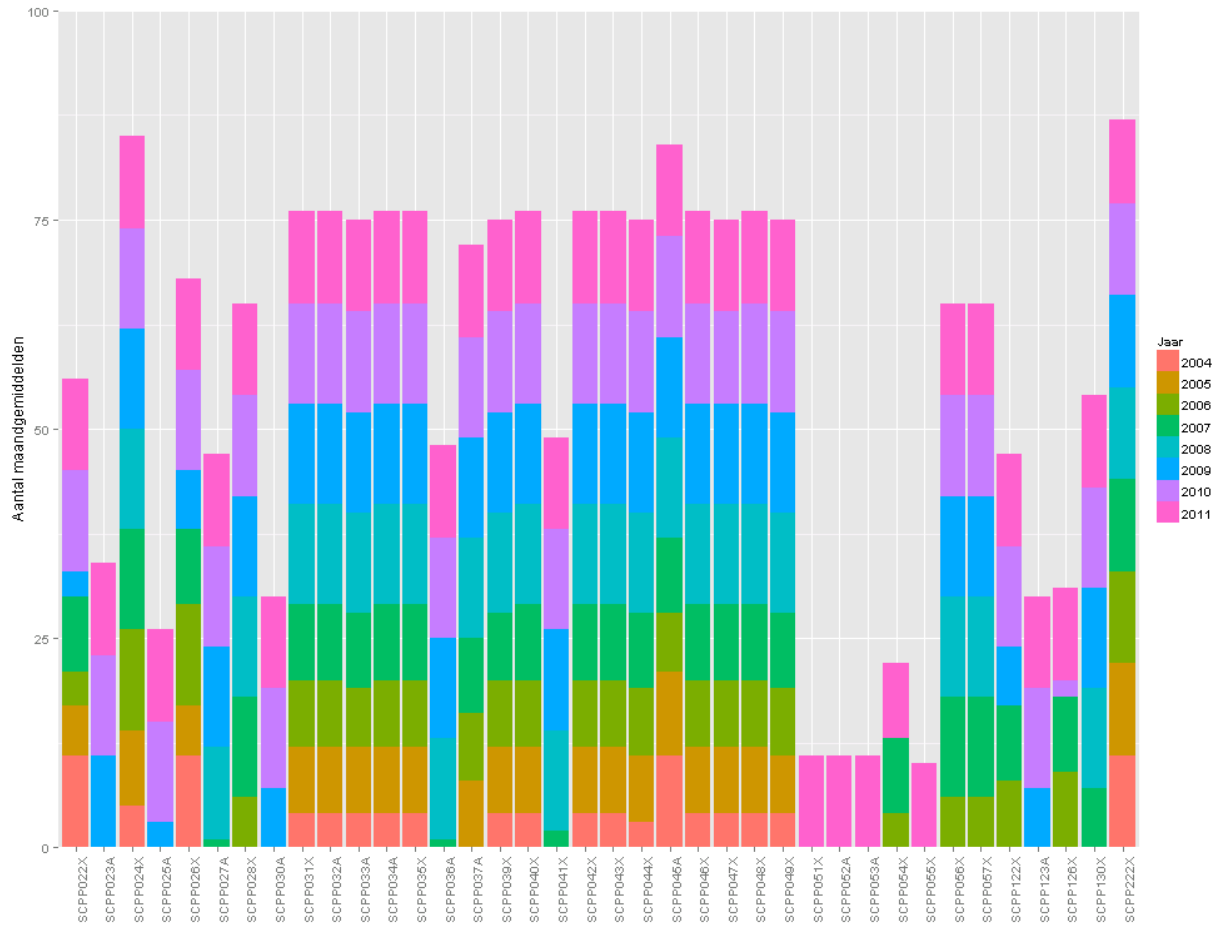


Fig. 4. Histogram van de beschikbare maandgemiddelden in meter TAW, van 38 piëzometers in het Scheps voor de periode 2004-2011.

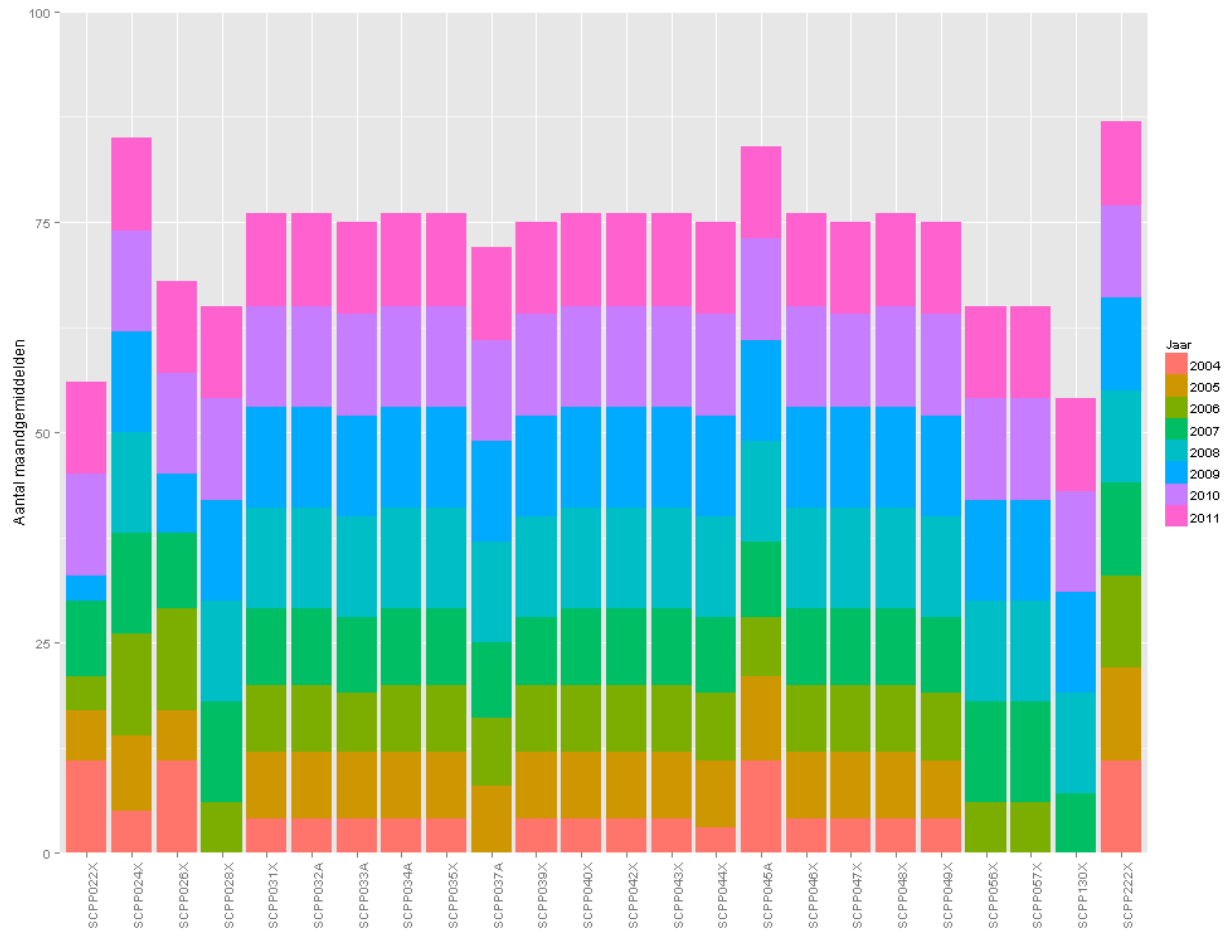


Fig. 5. Histogram van de beschikbare maandgemiddelden in meter TAW, van de 24 weerhouden piëzometers in het Scheps voor de periode 2004-2011.

2.3.2 Relaties met de factor winning

Wanneer de maandelijkse netto-neerslag wordt uitgezet tegenover de factor winning, dan is de mediaan voor netto neerslag lager voor de periode dat de winning af staat (Fig. 6). Gezien de spreiding op de data is het verschil evenwel niet significant ($P = 0.436$). Dit geeft aan dat de termen netto-neerslag en winning zonder probleem naast elkaar kunnen worden geïnterpreteerd in het model.

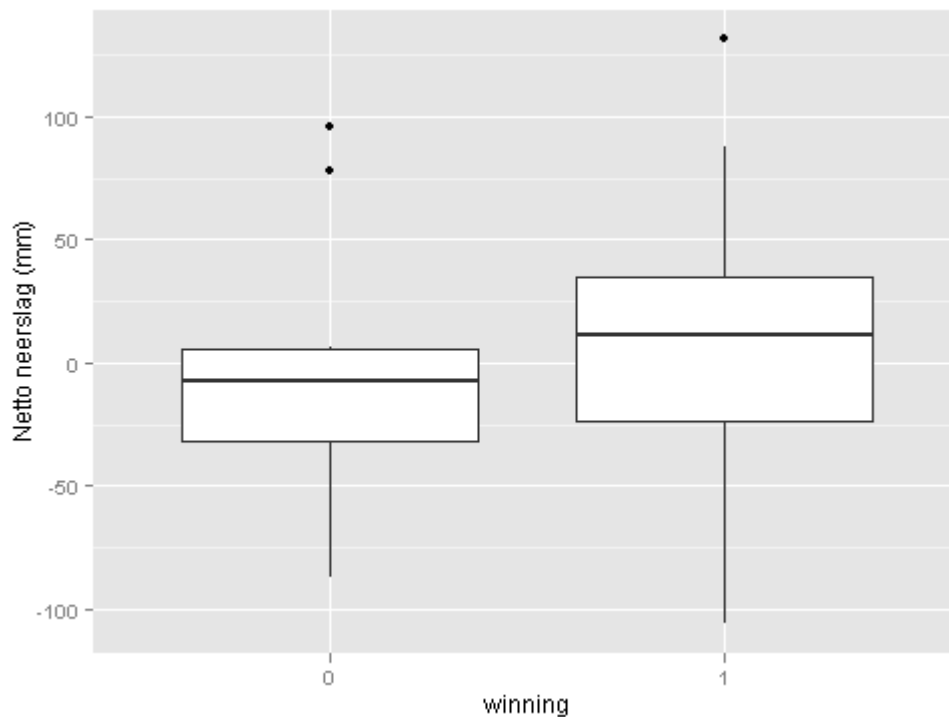


Fig. 6. Variatie in de maandelijkse netto-neerslag (2004-2011), in relatie tot de factor winning.

Een andere variabele die potentieel verandert in de tijd, en daardoor mogelijk met de factor 'winning' verward kan worden, is het oppervlaktewaterbeheer. In het bijzonder wordt in het Scheps kanaalwater geïnfiltreerd als milderende maatregel voor de grondwaterwinning ("irrigatie"). Hoewel van de irrigatie op dagbasis is bijgehouden welke peilen zijn gehandhaafd in de verschillende compartimenten van de irrigatiezone, vormde dit een numeriek en ruimtelijk te complex aspect om in de voorliggende modelbenadering mee te nemen. In de modelbenadering zullen (ruimtelijk verschillende) effecten van irrigatie dus impliciet vervat zitten in de piëzometerspecifieke smoother. Nu kan dit wel kwalitatief worden benaderd als volgt. In de periode dat de winning af stond, is er heel weinig kanaalwater ingelaten moeten worden om de peilen te kunnen handhaven in vergelijking met de voorgaande jaren, en dit gold ook voor het droge voorjaar (verslag uitgevoerde beheerwerken 2011 van ANB). Daar er geen significant verschillende hoeveelheid netto-neerslag was wanneer de winning uit stond (zie eerder), leidt de surplus-irrigatie in de periode dat de winning aan stond dus tot de verwachting dat eventuele verdrogende effecten, door het regressiemodel toegewezen aan de grondwaterwinning, onderschat zullen worden, maar niet overschat.

Een grafische analyse van de verschillen in de grondwaterpeilen volgens de factor winning is weergegeven in Fig. 7. Het is belangrijk te benadrukken, gezien dit metingen betreft, dat de weergegeven waarden niet controleren voor covariatie in netto-neerslag en irrigatie. Aangezien echter de relatie tussen de netto-neerslag en winning niet significant is, en neigt naar minder grondwateraanvulling (netto-neerslag) als de winning af staat, en gezien het onderschattingseffect door de irrigatie, kan uit deze grafiek reeds eenduidig besloten worden dat een deel van de piëzometers een verdrogend effect ondervindt als gevolg van de winning. Het statistisch testen en precies begroten van dit effect is mogelijk met een model dat controleert voor locatiespecifieke seizoensale peilschommeling en het effect van netto-neerslag, zie hiervoor paragraaf 3.



Fig. 7. Weergave van de spreiding van gecentreerde gemeten grondwaterpeilen, volgens piëzometer en maand, en met onderscheid volgens de factor winning (0 = winning af, 1 = winning aan). Berekening op basis van maandgemiddelden.

3. Een eenvoudige modelbenadering

3.1 Modelbouw

Voor argumentatie van de modelkeuze en de opgenomen termen in het regressiemodel, zie 2.1. Het regressiemodel is een GAM (generalized additive model) en veronderstelt een bij benadering normale verdeling van de residuen (zie voor meer informatie bijvoorbeeld Zuur et al., 2009). De modellering is gebeurd in het open-source pakket R versie 2.15.0 (R Development Core Team, 2012), gebruik makend van het package *mgcv* versie 1.7-16 voor de gam-functie (Wood, 2006; Wood, 2011) en package *ggplot2* versie 0.9.1 voor grafische weergaven (Wickham, 2009).

Het mathematisch model is als volgt (met de variabelennamen zoals gebruikt in R):

$$peil = a + s(MAAND):ID + b \times aanvul + c \times ID + d \times aanvul:ID + e \times winning:ID + \varepsilon$$

Overeenkomstige codering in R:

$$peil \sim s(MAAND, by = ID, k = 4, bs = "cc") + aanvul * ID + winning:ID$$

met als variabelen:

- peil*: de responsvariabele: het gecentreerde grondwaterpeil, geaggregeerd naar maandgemiddelden
- MAAND*: maandindex (1 tot 12)
- aanvul*: netto-neerslag (maandtotalen)
- ID*: aanduiding piëzometer (label)
- winning*: de eerder besproken factor winning (0 of 1)
- ε : residu (het niet met de voornoemde factoren verklaard gedeelte van de meetwaarde)

met als parameters *a*, *b*, *c*, *d*, *e* en met *s(MAAND):ID* de piëzometerspecifieke smoother.

Voor de predictor *MAAND* is een smoother gefit per piëzometer (*by = ID*), zoals toegelicht onder 2.1. Er is gekozen voor een zg. 'cyclic penalized cubic regression spline smooth', zodat deze smoother gedwongen wordt om op het einde van de jaarcyclus terug uit te komen op de waarde van het begin (*bs = "cc"*). Het maximum aantal knots voor smoothing is beperkt tot 4 (*k = 4*).

De specificering *aanvul*ID* laat toe om per piëzometer een lineaire relatie te fitten tussen netto-neerslag en grondwaterpeil, bovenop het gedeelte van de variatie in het peil dat door de smoother wordt verklaard. Daarbij wordt per piëzometer een intercept en een richtingscoëfficiënt geschat en getest.

De component van interesse in dit advies is *winning:ID*. Het schat per piëzometer één effect op de respons (in meter), als gevolg van het aan staan van de winning (referentie = winning af), die niet verklaard wordt door de andere predictoren in het model. Deze schatting per piëzometer wordt vervolgens onderworpen aan een t-toets om te bepalen of het effect significant verschilt van nul. De *P*-waarde geeft de kans (tussen 0 en 1) dat dit effect wel gelijk is aan nul. Er wordt in dit advies gewerkt met het courant toegepaste significantieniveau van 0.05 om te bepalen of een effect significant is (effect significant bij $P < 0.05$).

Het model kon complexer worden gemaakt door bv. ook een interactie te schatten tussen winning en maand, d.w.z. een effect van winning per maand. Zowel omwille van interpreteerbaarheid, presenteerbaarheid als betrouwbaarheid (slechts 1 maandgemiddelde per maand zonder winning) is hiervan afgezien. Het winningseffect in meter is dus het gemiddelde effect voor de 10 maanden samen waarmee de vergelijking

gemaakt kan worden (maart tot december). De vergelijking tussen aan- en afstaan van de winning was dus niet mogelijk voor een geheel jaar, aangezien met de voorliggende data enkel 10 volledige kalendermaanden konden worden betrokken in de analyse. Niettemin kan worden gesteld dat met 10 maanden het jaarlijkse peilregime reeds goed is vertegenwoordigd.

Na fitten (calibreren) van het model is nagegaan of het model vereenvoudigd kon worden door het weglaten van niet-verklarende termen. Alle mogelijke gereduceerde modellen verschilden echter significant ($P < 0.05$) van het bovenstaande model, zodat deze vorm behouden moet blijven. Het betekent dat alle termen significant bijdragen. De veronderstelling van normaliteit van de residu's is voldaan (Fig. 8).

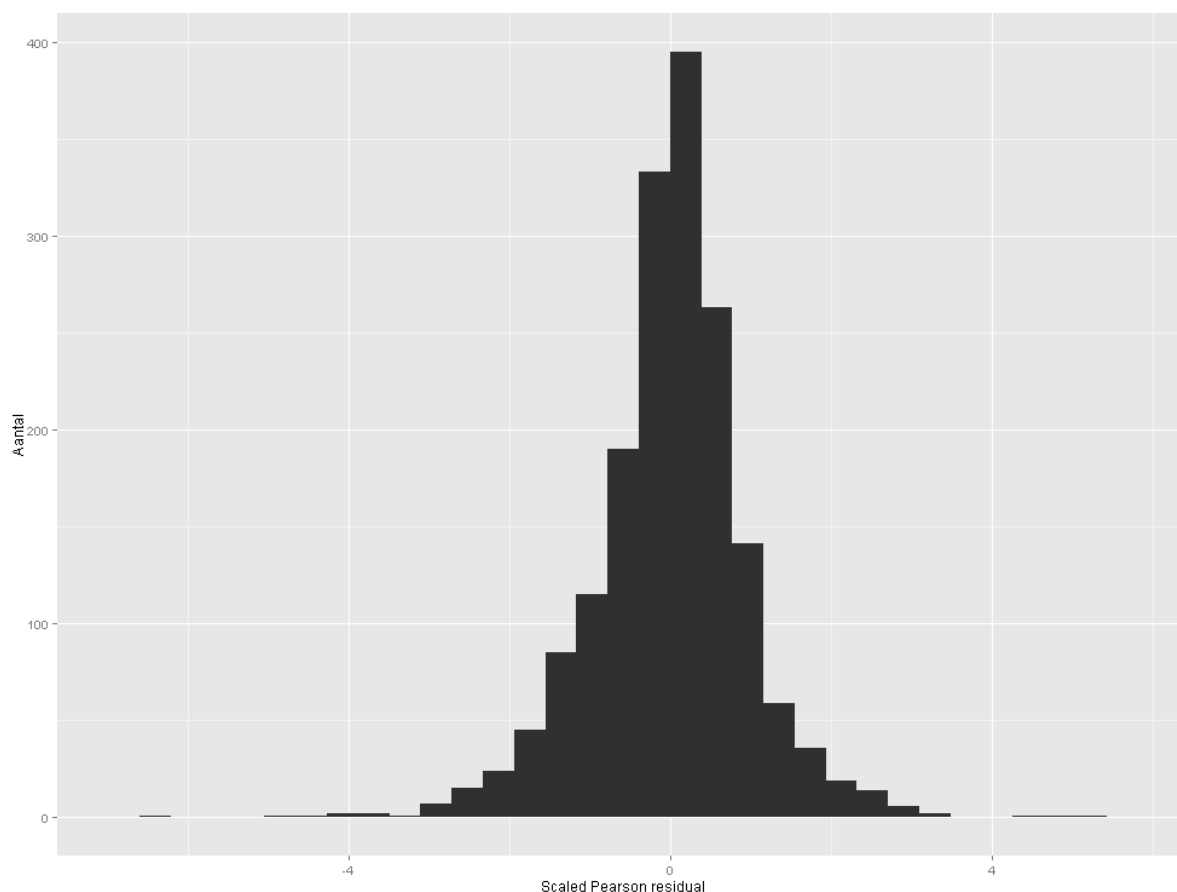


Fig. 8. Histogram van de gestandaardiseerde residu's van het model.

3.2 Modelresultaten en interpretatie

De summary-output van het GAM-model is opgenomen in Bijlage 2. Hieruit zijn de geschatte effecten van de winning overgenomen in Tabel 1. Voor 19 van de 24 piëzometers is er een significant negatief effect; voor 10 piëzometers is dit effect zeer significant ($P < 0.01$). De grondwaterpeilverlaging als gevolg van de grondwaterwinning in deze piëzometers bedraagt -8 tot -33 cm, als gemiddelde waarde voor de periode maart tot december. In de overige 5 piëzometers is geen significant effect vastgesteld op basis van deze meetreeksen. De verdeling van de effecten is weergegeven in Fig. 9. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de correlatie tussen de factor 'winning' en irrigatie (zie eerder) ertoe leidt dat de vernoemde effecten een onderschatting zullen zijn van het feitelijke effect van de grondwaterwinning, d.w.z. zonder irrigatie als milderende maatregel.

Een detecteerbaar significant effect met de huidige meetreeksen blijkt rond 8 cm en hoger te liggen; om kleinere effecten betrouwbaar (i.e. significant) te kunnen detecteren, zijn meer gegevens nodig, met name voor de situatie winning = 0.

Tabel 1. Door het model geschatte effecten van de winning (in meter), de standaardfout op de schatting (in meter), en de P-waarde. De waarden in de tabel zijn afgerond t.o.v. de modelschattingen, zie Bijlage 2. De piëzometers zijn gerangschikt volgens de absolute waarde van het effect. Een negatief effect betekent grondwaterpeilverlaging door de winning, een positief effect een verhoging. Enkel voor de piëzometers met $P < 0.05$ wordt binnen dit advies het effect beschouwd als significant verschillend van nul; deze P-waarden zijn in het vet aangeduid en komen overeen met de grotere effecten.

Piëzometer	Lokale code	Effect (m)	Standaardfout (m)	<i>P</i>
SCPP028X	ANB_206	-0.33	0.040	0.000
SCPP046X	ANB_034	-0.21	0.039	0.000
SCPP039X	ANB_018	-0.17	0.039	0.000
SCPP045A	ANB_033	-0.16	0.039	0.000
SCPP057X	ANB_203	-0.16	0.040	0.000
SCPP022X	ANB_207; ecoinv_grnete11	-0.15	0.040	0.000
SCPP049X	ANB_050	-0.15	0.039	0.000
SCPP024X	ANB_231	-0.14	0.039	0.000
SCPP040X	ANB_019	-0.14	0.039	0.000
SCPP047X	ANB_035	-0.13	0.039	0.001
SCPP043X	ANB_031	-0.10	0.039	0.010
SCPP037A	ANB_015	-0.09	0.039	0.021
SCPP044X	ANB_032	-0.09	0.039	0.028
SCPP048X	ANB_038	-0.09	0.039	0.020
SCPP222X	5220-122	-0.09	0.041	0.028
SCPP031X	ANB_003	-0.08	0.039	0.049
SCPP032A	ANB_004	-0.08	0.039	0.048
SCPP056X	ANB_204	-0.08	0.040	0.045
SCPP130X	ANB_230	-0.08	0.040	0.036
SCPP034A	ANB_007	-0.07	0.039	0.061
SCPP033A	ANB_006	-0.06	0.039	0.126
SCPP035X	ANB_008	-0.06	0.039	0.139
SCPP026X	ANB_242	-0.02	0.039	0.611
SCPP042X	ANB_030	0.03	0.039	0.405

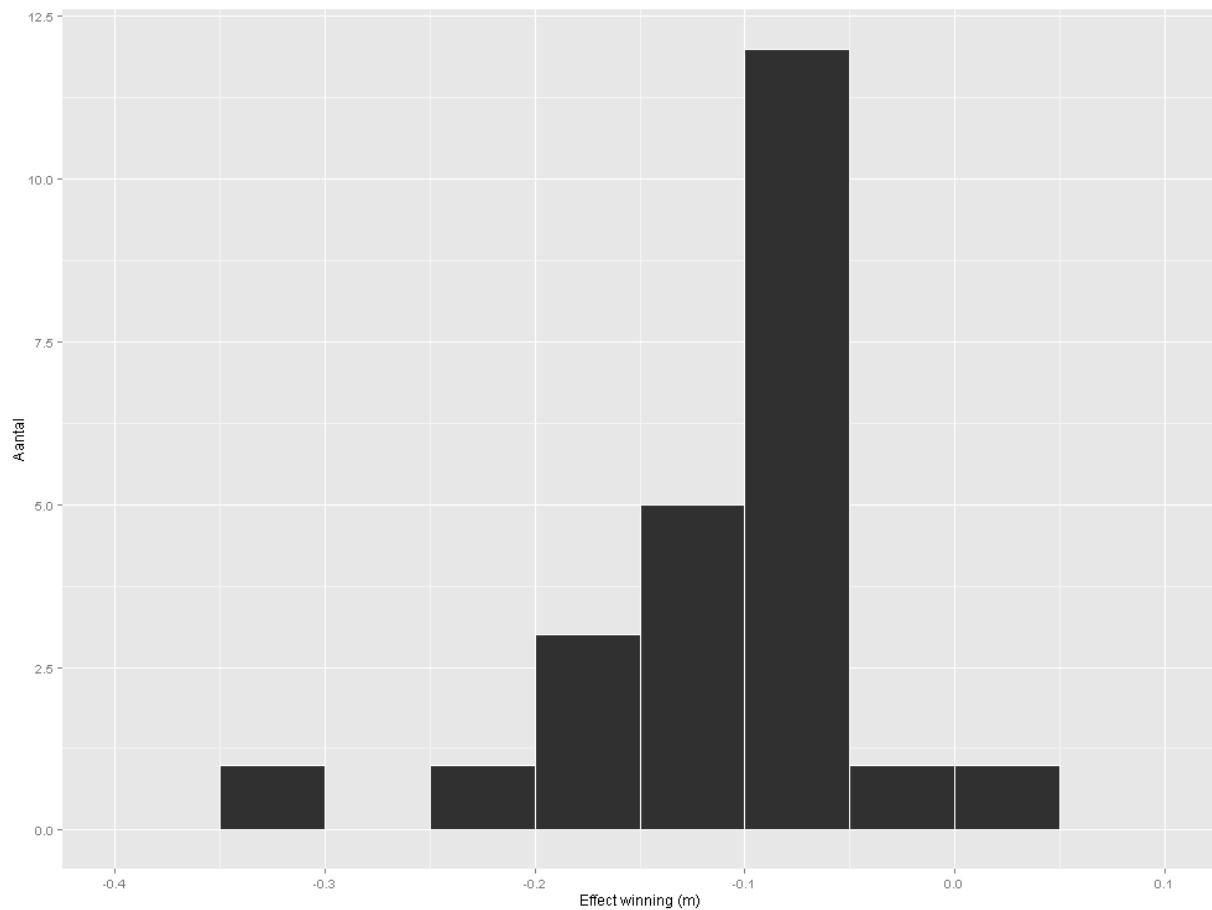


Fig. 9. Histogram van de geschatte effecten van de grondwaterwinning op ondiepe piëzometers in het Scheps.

4. Ruimtelijke interpretatie

In *Fig. 10* is te zien hoe de grootte van de effecten van de grondwaterwinning gerelateerd is aan de nabijheid van de watervangputten. Dit komt overeen met de verwachtingen volgens modelbouw, aangezien het effecten betreft van de grondwaterwinning waarbij reeds gecontroleerd is voor klimatologische effecten. Op basis van de meetlocaties wordt een significante verlaging van het grondwaterpeil aangetroffen tot ca. 300 à 600 meter van de watervangputten, afhankelijk van de beschouwde richting.

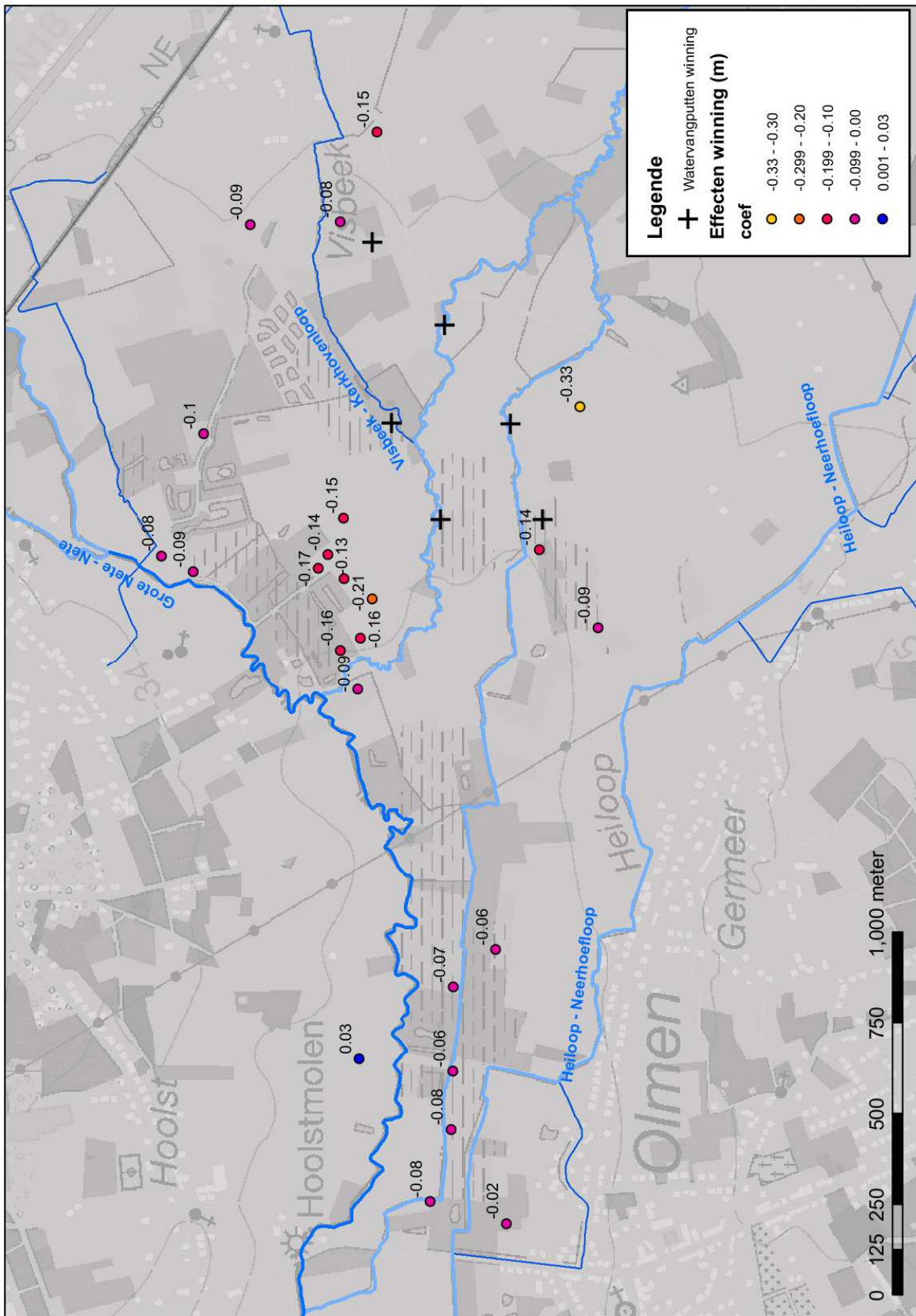


Fig. 10. De geschatte effecten van de grondwaterwinning ter hoogte van ondiepe piëzometers in het Scheps, uitgezet op kaart.

5. Ecologische interpretatie

Gezien de beschikbaarheid van lange tijdreeksen van grondwaterpeilmetingen voor een groot aantal meetlocaties, kan een goede inschatting gemaakt worden van de grondwaterafhankelijke vegetatietypen/habitats die in het gebied kunnen voorkomen. Enkel de tijdreeksen van grondwaterpeilmetingen van die meetlocaties waarvan een significant effect van de grondwaterwinning werd vastgesteld (zie §3.2 tabel 1) worden in beschouwing genomen. Uit die tijdreeksen kunnen een aantal grondwaterdynamische karakteristieken berekend worden, de zgn. GXG's. Twee daarvan zijn van bijzonder groot belang als sturende standplaatskarakteristieken: de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG). Zij bepalen samen met een aantal andere factoren (grondwaterchemie, beheer, bodemgesteldheid,...) welke vegetatietypen al dan niet kunnen ontwikkelen op de locaties in kwestie. Die karakteristieken worden berekend op basis van drie tot zeven jaar lange tijdreeksen, waarbij per jaar telkens de drie hoogste/laagste waarden geselecteerd worden en uit die twee sets van waarden wordt het gemiddelde berekend.

Als de tijdreeksen voor grondwaterpeilmetingen geselecteerd worden voor de periode tussen 2000 en 2010, dan kunnen de GXG's berekend worden voor de periode dat de grondwaterwinning in bedrijf is, de zgn. winning aan. Van het begin 2011 tot begin 2012 werd de winning stilgelegd, 'winning af'. Voor die periode kan onder voorbehoud een inschatting van de GXG's gemaakt worden onder een ander (natter) regime. De GXG's kunnen weliswaar niet volledig betrouwbaar berekend worden omdat de periode te kort is (één jaar i.p.v. de gebruikelijke 3 tot 7), maar in ieder geval wordt een beeld verkregen van het effect van de winning op de verschillende meetlocaties en dus ook op de respectievelijke GXG's.

De meest waarschijnlijke habitats/waardevolle vegetatietypen die in het gebied van het Scheps actueel voorkomen (zie o.a. Callebaut et al. 2007), zijn Oligotroof elzenberkenbroek (91^{E0} oli), Mesotroof elzenbroek (91^{E0} meso), Kleine zeggenvegetaties (7140 meso) en het regionaal belangrijk biotoop Dottergrasland (rbb Hc).

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de GHG en GLG voor deze vier hierboven genoemde habitattypen zoals die verzameld zijn in een aantal referentiesites in Vlaanderen binnen het project 'NICHE'. (Callebaut et al., 2007). Er wordt telkens een 5- en een 95 percentielwaarde gegeven.

Tabel 2: 5- en 95-percentielwaarden voor 4 vegetatietypen die actueel (en potentieel) in het gebied het Scheps voorkomen (uitgedrukt in meter t.o.v. het maaiveld, negatieve waarden zijn waarden beneden het maaiveld).

percentiel	GHG		GLG	
	5%	95%	5%	95
91E0 meso	0.02	0.17	-0.62	-0.27
91E0 oligo	-0.07	0.12	-0.35	-0.18
rbb Hc	-0.06	0.01	-0.71	-0.38
7140 meso	-0.02	0.05	-0.43	-0.17

Bij vernatting komen aanvullend de vegetatietypes 'rietland' en 'grote zegge' als potentieel waardevol terrestrisch vegetatietype naar voor. Voor deze vegetatietypes (en voor de open watervegetaties) gebeurde geen standplaatscontrole via Niche.

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende meetlocaties waar de 4 voorkomende habitats zich kunnen ontwikkelen onder een "winning aan" en een "winning af" regime. Grote zegge, riet en open water worden hier dus niet behandeld.

Tabel 3: overzicht van 4 van de mogelijke habitats rond de verschillende meetlocaties in het Scheps voor de grondwaterwinning "aan" en "af". (waarden van GHG en GLG uitgedrukt in meter, negatieve waarden zijn peilen onder maaiveld).

Waarden in blauw gemarkeerd vertonen hogere waterpeilen bij "winning af", waarden in rood zijn hoger bij "winning aan".

ID	winning aan		winning af		winning aan				winning af			
	GHG-aan	GLG-aan	GHG-af	GLG-af	91 ^E 0-meso	91 ^E 0-oli	7140-meso	Rbb-Hc	91 ^E 0-meso	91 ^E 0-oli	7140_meso	Rbb-Hc
SCPP022	-0.17	-1.18	-0.17	-1.11	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP024	-0.16	-0.61	-0.04	-0.34	0	0	0	0	1	1	0	0
SCPP028	-0.24	-1.16	-0.10	-0.84	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP031	-0.18	-0.45	0.05	-0.45	0	0	0	0	1	0	0	1
SCPP032	-0.02	-0.20	0.25	-0.17	0	1	1	0	0	0	0	0
SCPP037	0.01	-0.36	0.15	-0.28	1	0	1	0	1	0	0	0
SCPP039	0.00	-0.31	0.22	-0.09	1	1	1	1	0	0	0	0
SCPP040	-0.32	-0.93	-0.13	-0.81	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP043	-0.08	-0.32	0.14	-0.22	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP044	-0.14	-0.73	-0.03	-0.79	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP045	0.03	-0.30	0.25	-0.18	1	1	1	0	0	0	0	0
SCPP046	-0.29	-0.73	-0.02	-0.58	0	0	0	0	0	0	0	1
SCPP047	-0.20	-0.67	-0.07	-0.62	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP048	0.05	-0.17	0.22	-0.13	0	0	1	0	0	0	0	0
SCPP049	-0.32	-0.97	-0.05	-0.98	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP056	0.16	-0.51	0.22	-0.46	1	0	0	0	0	0	0	0
SCPP057	0.30	-0.33	0.41	-0.15	0	0	0	0	0	0	0	0
SCPP130	0.14	-0.56	0.12	-0.52	1	0	0	0	1	0	0	0
SCPP222	-0.19	-0.42	-0.19	-0.30	0	0	0	0	0	0	0	0

Er is een duidelijk verschil in GHG en GLG-waarden wanneer de winning aan staat en wanneer ze afstaat. Belangrijke opmerking is wel dat de GXG's voor de toestand "winning af" strikt genomen niet kunnen berekend worden omdat voor die toestand slechts één van de benodigde drie tot zeven jaar metingen voorhanden is. Aan de andere kant was 2011, in vergelijking met de tien voorgaande jaren, een normaal jaar voor wat grondwatertafelschommelingen betreft.

Het merendeel van zowel de GXG als de GLG waarden vertoont een hogere waarde bij de situatie 'winning af'. Voor de vier beschouwde habitat-/vegetatietypen is er een merkbaar verschil in standplaatsgeschiktheid tussen de situatie 'winning af' en 'winning aan'.

CONCLUSIE

- De effecten van de grondwaterwinning zijn geschat en getoetst met een regressiemodel voor maandgemiddelde waterpeilen voor de periode 2004 tot en met 2011, waarbij gecontroleerd wordt voor klimatologische oorzaken en locatiespecifieke eigenschappen van de meetpunten.
- 19 van de 24 onderzochte meetreeksen van grondwaterpeilen, vertonen een significant effect als gevolg van het uitstaan van de winning. De grondwaterwinning veroorzaakt op deze locaties een significante verdroging van -8 tot -33 cm, waarbij de grootste peilverlagingen het dichtst bij de watervangputten gelegen zijn. In de overige 5 piëzometers is geen significant effect vastgesteld op basis van deze meetreeksen; deze zijn verder van de winning gelegen.
- Er is een correlatie tussen het uit- of aanstaan van de grondwaterwinning en de mate van aftappen van kanaalwater (infiltratie als milderende maatregel): in de periode dat de winning uit stond, is er veel minder kanaalwater afgetapt. Dit betekent dat de effecten, door het regressiemodel toegewezen aan de grondwaterwinning, niet kunnen controleren voor de milderende effecten van de

irrigatie, en dus dat het effect van de grondwaterwinning *an sich* groter kan worden verwacht dan de hierboven vermelde waarden.

- Het stopzetten van de grondwaterwinning resulteert in gewijzigde grondwatertafelpeilen en -schommelingen. Deze verschuivingen in de standplaatskarakteristieken leiden tot verschuivingen in vegetatietypen.

REFERENTIES

Callebaut J., De Bie E, De Becker P. & Huybrechts W. (2007). NICHE Vlaanderen : SVW : 1-7. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2007(3). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.R-project.org>.

Wickham H. (2009). ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer, New York.

Wood S. (2006). Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

Wood S. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society (B) 73(1): 3-36.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., & Smith G.M. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer Science+Business Media, New York.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Lijst van ondiepe piëzometers in het Scheps met recente metingen, en met aanduiding welke van de meetreeksen in meter TAW weerhouden zijn voor analyse wegens de aanwezigheid van een voldoende lange tijdreeks.

Piëzometer	Lokale code	X coördinaat (Lambert)	Y coördinaat (Lambert)	Eerste meetdatum	Meest recente meetdatum	Aantal meet- gegevens m-mv	Aantal meet- gegevens m TAW	Weerhouden voor analyse?
SCPP021A	ANB_001	204706	204248	6/01/2012	16/03/2012	6	6	
SCPP021X	ANB_001	204706	204248	20/11/2000	23/12/2011	159	159	
SCPP022X	ANB_207; ecoinv_grnete11	206808	204637	30/07/2001	16/03/2012	1709	1709	X
SCPP023A	ANB_239	206589	204236	1/01/2009	16/03/2012	1079	1079	
SCPP024X	ANB_231	206720	204096	20/11/2000	16/03/2012	1992	1992	X
SCPP025A	ANB_200	206960	204245	8/10/2009	16/03/2012	865	865	
SCPP026X	ANB_242	204860	204187	12/02/2004	16/03/2012	2062	2062	X
SCPP027A	ANB_241	205749	204186	4/12/2007	16/03/2012	1165	1165	
SCPP028X	ANB_206	207115	203984	4/07/2006	2/03/2012	1905	1905	X
SCPP030A	ANB_199	207624	204646	24/06/2009	16/03/2012	984	984	
SCPP031X	ANB_003	204922	204397	20/11/2000	16/03/2012	168	168	X
SCPP032A	ANB_004	205120	204340	14/01/2003	16/03/2012	152	152	X
SCPP033A	ANB_006	205282	204335	2/06/2003	16/03/2012	150	150	X
SCPP034A	ANB_007	205513	204334	10/10/2003	16/03/2012	143	143	X
SCPP035X	ANB_008	205616	204217	20/11/2000	16/03/2012	168	168	X
SCPP036A	ANB_009	205977	204001	21/12/2007	16/03/2012	100	100	
SCPP037A	ANB_015	206334	204598	1/02/2005	16/03/2012	140	140	X
SCPP038A	ANB_017	206574	204768	4/12/2007	16/03/2012	100	100	
SCPP039X	ANB_018	206669	204707	20/11/2000	16/03/2012	167	167	X
SCPP040X	ANB_019	206707	204680	20/11/2000	16/03/2012	167	167	X
SCPP041X	ANB_023	205551	204211	2/11/2007	16/03/2012	105	105	
SCPP042X	ANB_030	205315	204594	20/11/2000	16/03/2012	164	164	X
SCPP043X	ANB_031	207041	205024	20/11/2000	16/03/2012	165	165	X
SCPP044X	ANB_032	207617	204895	20/11/2000	16/03/2012	159	159	X
SCPP045A	ANB_033	206476	204590	10/10/2003	16/03/2012	552	552	X
SCPP046X	ANB_034	206585	204558	20/11/2000	16/03/2012	168	168	X
SCPP047X	ANB_035	206641	204635	20/11/2000	16/03/2012	166	166	X
SCPP048X	ANB_038	206660	205052	20/11/2000	16/03/2012	166	166	X
SCPP049X	ANB_050	207873	204544	20/11/2000	16/03/2012	162	162	X
SCPP051X	ANB_055	206920	205056	7/01/2011	16/03/2012	32	32	
SCPP052A	ANB_026	206481	204879	7/01/2011	16/03/2012	32	32	
SCPP053A	ANB_C14	206469	204257	7/01/2011	16/03/2012	32	32	
SCPP054A	ANB_A14	206647	204218	20/01/2012	16/03/2012	5	5	
SCPP054X	ANB_A14	206647	204218	29/09/2006	23/12/2011	372	372	
SCPP055X	ANB_036	206027	203854	7/01/2011	16/03/2012	28	28	
SCPP056X	ANB_204	206703	205140	7/07/2006	16/03/2012	1902	1902	X
SCPP057X	ANB_203	206442	204645	4/07/2006	16/03/2012	1905	1905	X
SCPP058X	ANB_G30	206959	204244	24/06/2011	16/03/2012	20	20	
SCPP059X	ANB_205 ANB_208;	206705	204356	4/07/2006	16/03/2012	1697	0	
SCPP122X	ecoinv_grnete12	206808	204637	30/07/2001	16/03/2012	1340	1340	
SCPP123A	ANB_201	206589	204235	24/06/2009	16/03/2012	977	977	
SCPP126X	ANB_243	204860	204186	25/04/2006	16/03/2012	979	979	
SCPP130X	ANB_230	207625	204646	18/06/2007	16/03/2012	1678	1678	X
SCPP222X	5220-122	206505	203934	13/02/1990	29/02/2012	317	317	X

Bijlage 2: De volledige summary-output van het aan de data gefitte model.

Family: gaussian

Link function: identity

Formula:

peil ~ s(MAAND, by = ID, k = 4, bs = "cc") + aanvul * ID + winning:ID

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	7.328e-02	3.628e-02	2.020	0.043556	*
aanvul	1.368e-03	4.212e-04	3.247	0.001190	**
IDSCPP024X	5.285e-02	5.120e-02	1.032	0.302145	
IDSCPP026X	-6.332e-02	5.125e-02	-1.235	0.216858	
IDSCPP028X	2.171e-01	5.126e-02	4.235	2.41e-05	***
IDSCPP031X	-1.823e-02	5.126e-02	-0.356	0.722135	
IDSCPP032A	-1.544e-02	5.125e-02	-0.301	0.763226	
IDSCPP033A	-2.789e-02	5.125e-02	-0.544	0.586377	
IDSCPP034A	-2.292e-02	5.121e-02	-0.448	0.654476	
IDSCPP035X	-2.963e-02	5.125e-02	-0.578	0.563233	
IDSCPP037A	-1.637e-02	5.126e-02	-0.319	0.749483	
IDSCPP039X	7.989e-02	5.126e-02	1.559	0.119271	
IDSCPP040X	4.196e-02	5.126e-02	0.818	0.413212	
IDSCPP042X	-1.319e-01	5.127e-02	-2.574	0.010153	*
IDSCPP043X	2.300e-02	5.125e-02	0.449	0.653612	
IDSCPP044X	-1.835e-02	5.127e-02	-0.358	0.720430	
IDSCPP045A	6.477e-02	5.125e-02	1.264	0.206443	
IDSCPP046X	1.023e-01	5.126e-02	1.996	0.046142	*
IDSCPP047X	3.025e-02	5.126e-02	0.590	0.555175	
IDSCPP048X	4.584e-03	5.126e-02	0.089	0.928756	
IDSCPP049X	3.399e-02	5.127e-02	0.663	0.507357	
IDSCPP056X	-7.901e-03	5.126e-02	-0.154	0.877525	
IDSCPP057X	6.332e-02	5.126e-02	1.235	0.216918	
IDSCPP130X	-1.199e-02	5.130e-02	-0.234	0.815286	
IDSCPP222X	1.286e-01	5.276e-02	2.437	0.014923	*
aanvul:IDSCPP024X	-5.960e-04	5.175e-04	-1.152	0.249665	
aanvul:IDSCPP026X	-8.648e-04	5.363e-04	-1.613	0.107002	
aanvul:IDSCPP028X	5.258e-04	5.466e-04	0.962	0.336192	
aanvul:IDSCPP031X	-2.139e-04	5.515e-04	-0.388	0.698117	
aanvul:IDSCPP032A	-6.168e-04	5.482e-04	-1.125	0.260682	
aanvul:IDSCPP033A	-3.625e-04	5.686e-04	-0.638	0.523824	
aanvul:IDSCPP034A	-6.448e-04	5.287e-04	-1.220	0.222795	
aanvul:IDSCPP035X	-6.147e-04	5.507e-04	-1.116	0.264506	
aanvul:IDSCPP037A	1.842e-04	5.527e-04	0.333	0.738940	
aanvul:IDSCPP039X	-6.985e-04	5.581e-04	-1.251	0.210945	
aanvul:IDSCPP040X	1.016e-04	5.567e-04	0.183	0.855204	
aanvul:IDSCPP042X	9.612e-04	5.573e-04	1.725	0.084723	.
aanvul:IDSCPP043X	-3.547e-04	5.468e-04	-0.649	0.516664	
aanvul:IDSCPP044X	8.059e-04	5.572e-04	1.446	0.148304	
aanvul:IDSCPP045A	-1.149e-04	5.466e-04	-0.210	0.833583	
aanvul:IDSCPP046X	-4.382e-05	5.551e-04	-0.079	0.937089	
aanvul:IDSCPP047X	2.108e-04	5.601e-04	0.376	0.706763	
aanvul:IDSCPP048X	-1.231e-03	5.533e-04	-2.225	0.026225	*
aanvul:IDSCPP049X	-1.669e-04	5.571e-04	-0.300	0.764485	
aanvul:IDSCPP056X	1.927e-04	5.484e-04	0.351	0.725310	
aanvul:IDSCPP057X	-1.410e-04	5.460e-04	-0.258	0.796324	
aanvul:IDSCPP130X	2.081e-04	6.136e-04	0.339	0.734561	
aanvul:IDSCPP222X	-2.414e-04	5.397e-04	-0.447	0.654751	
IDSCPP022X:winning1	-1.499e-01	4.039e-02	-3.711	0.000213	***
IDSCPP024X:winning1	-1.426e-01	3.861e-02	-3.694	0.000228	***
IDSCPP026X:winning1	-1.999e-02	3.926e-02	-0.509	0.610689	
IDSCPP028X:winning1	-3.313e-01	3.946e-02	-8.397	< 2e-16	***
IDSCPP031X:winning1	-7.691e-02	3.902e-02	-1.971	0.048860	*
IDSCPP032A:winning1	-7.716e-02	3.900e-02	-1.978	0.048081	*
IDSCPP033A:winning1	-5.980e-02	3.902e-02	-1.532	0.125595	
IDSCPP034A:winning1	-7.310e-02	3.892e-02	-1.878	0.060510	.
IDSCPP035X:winning1	-5.780e-02	3.901e-02	-1.481	0.138674	
IDSCPP037A:winning1	-9.021e-02	3.915e-02	-2.304	0.021324	*
IDSCPP039X:winning1	-1.735e-01	3.909e-02	-4.439	9.62e-06	***
IDSCPP040X:winning1	-1.401e-01	3.904e-02	-3.590	0.000341	***
IDSCPP042X:winning1	3.250e-02	3.904e-02	0.833	0.405223	

```

IDSCPP043X:winning1 -1.004e-01 3.900e-02 -2.574 0.010152 *
IDSCPP044X:winning1 -8.581e-02 3.905e-02 -2.198 0.028115 *
IDSCPP045A:winning1 -1.599e-01 3.871e-02 -4.130 3.80e-05 ***
IDSCPP046X:winning1 -2.056e-01 3.903e-02 -5.268 1.56e-07 ***
IDSCPP047X:winning1 -1.289e-01 3.908e-02 -3.299 0.000991 ***
IDSCPP048X:winning1 -9.117e-02 3.902e-02 -2.336 0.019604 *
IDSCPP049X:winning1 -1.482e-01 3.907e-02 -3.792 0.000155 ***
IDSCPP056X:winning1 -7.933e-02 3.946e-02 -2.010 0.044544 *
IDSCPP057X:winning1 -1.571e-01 3.946e-02 -3.983 7.11e-05 ***
IDSCPP130X:winning1 -8.436e-02 4.020e-02 -2.099 0.036009 *
IDSCPP222X:winning1 -8.964e-02 4.065e-02 -2.205 0.027574 *
---

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value	
s(MAAND):IDSCPP022X	1.9745	2	110.736	< 2e-16	***
s(MAAND):IDSCPP024X	0.7116	2	0.581	0.195113	
s(MAAND):IDSCPP026X	1.5638	2	4.831	0.002142	**
s(MAAND):IDSCPP028X	1.6740	2	7.273	0.000178	***
s(MAAND):IDSCPP031X	1.7341	2	7.211	0.000256	***
s(MAAND):IDSCPP032A	1.5907	2	4.230	0.005008	**
s(MAAND):IDSCPP033A	1.5732	2	4.011	0.006230	**
s(MAAND):IDSCPP034A	0.6825	2	0.552	0.198283	
s(MAAND):IDSCPP035X	1.7009	2	7.491	0.000158	***
s(MAAND):IDSCPP037A	1.7482	2	8.427	6.91e-05	***
s(MAAND):IDSCPP039X	1.7751	2	8.616	6.45e-05	***
s(MAAND):IDSCPP040X	1.9587	2	62.183	< 2e-16	***
s(MAAND):IDSCPP042X	1.9829	2	225.048	< 2e-16	***
s(MAAND):IDSCPP043X	1.5288	2	3.577	0.009463	**
s(MAAND):IDSCPP044X	1.9542	2	54.826	< 2e-16	***
s(MAAND):IDSCPP045A	1.7537	2	8.162	9.59e-05	***
s(MAAND):IDSCPP046X	1.8907	2	23.471	2.36e-11	***
s(MAAND):IDSCPP047X	1.9143	2	25.017	6.59e-12	***
s(MAAND):IDSCPP048X	1.8151	2	13.687	3.24e-07	***
s(MAAND):IDSCPP049X	1.9756	2	126.096	< 2e-16	***
s(MAAND):IDSCPP056X	1.7547	2	9.167	3.11e-05	***
s(MAAND):IDSCPP057X	1.6481	2	6.099	0.000636	***
s(MAAND):IDSCPP130X	1.8695	2	21.642	1.21e-10	***
s(MAAND):IDSCPP222X	1.4493	2	3.621	0.006984	**

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.606 Deviance explained = 63.1%
GCV score = 0.013892 Scale est. = 0.013006 n = 1760