

Analyse grondwaterstanden en stijghoogten ter evaluatie grondwateronttrekking en wateraanvoerplan Boerhaar



Statistisch Adviesbureau

oktober 2002

Analyse grondwaterstanden en stijghoogten ter evaluatie grondwateronttrekking en wateraanvoerplan Boerhaar

Opdrachtgever: Vitens, Waterschap Groot Salland en GLTO-werkgroep Water in Boerhaar

Auteur: drs. Paul K. Baggelaar

oktober 2002



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

INHOUD

SAMENVATTING	2
1 INLEIDING.....	5
1.1 ACHTERGRONDEN	5
1.2 DOELSTELLING VAN DIT PROJECT	5
1.3 AANPAK OP HOOFDLIJNEN	6
1.4 OVER DIT RAPPORT	6
2 GEBIEDSINVENTARISATIE	7
2.1 GEOGRAFISCHE SITUATIE.....	7
2.2 GEOHYDROLOGISCHE SITUATIE.....	7
2.3 METEOROLOGISCHE OMSTANDIGHEDEN	8
2.4 GRONDWATERONTTREKKINGEN	10
2.4.1 Grondwateronttrekking te Boerhaar	10
2.4.2 Grondwateronttrekkingen voor industriële en agrarische doeleinden.....	13
2.5 WATERHUISSHOUDKUNDIGE SITUATIE	14
2.5.1 Wateraanvoer en -afvoer	14
2.5.2 Waterstand van de IJssel.....	16
3 AANPAK VAN DE TIJDREEKSANALYSE	17
3.1 KEUZEN VOOR DE MODELONTWIKKELING	17
3.1.1 Te hanteren tijdseenheid bij het modelleren	17
3.1.2 Modelleren meteorologische omstandigheden	18
3.1.3 Modelleren invloed middeldiepe winning Boerhaar	19
3.1.4 Modelleren invloed verplaatsing zwaartepunt middeldiepe winning Boerhaar	20
3.1.5 Modelleren invloed wateraanvoerplan Midden-West.....	22
3.1.6 Modelleren invloed oppervlaktewaterstand IJssel	23
3.1.7 Modelleren invloed bronbemalingen op winplaats	23
3.2 SELECTEREN EN VOORBEWERKEN VAN DE STIJGHOOGTEREKSSEN.....	24
4 RESULTATEN VAN DE TIJDREEKSANALYSE	27
4.1 GESCHATTE INVLOED MIDDELDIEPE WINNING BOERHAAR.....	27
4.2 GESCHATTE INVLOED WATERAANVOERPLAN MIDDEN-WEST.....	31
4.3 COMBINATIE GESCHATTE INVLOEDEN WINNING EN WATERAANVOERPLAN.....	34
4.4 GESCHATTE INVLOED VERPLAATSING ZWAARTEPUNT MIDDELDIEPE WINNING BOERHAAR.....	36
5 VERGELIJKING MET VERWACHTE INVLOEDEN.....	37
5.1 VERGELIJKING MET VERWACHTE INVLOED MIDDELDIEPE WINNING BOERHAAR	37
5.1.1 Presentatie resultaten verschillende studies	39
5.1.2 Vergelijking resultaten verschillende studies	39
5.1.3 Evaluatie van de vergelijking.....	42
5.2 VERGELIJKING MET VERWACHTE INVLOED WATERAANVOERPLAN MIDDEN-WEST	43
6 INVLOED TOENAME MIDDELDIEPE WINNING?.....	46
REFERENTIES	47
BIJLAGE 1. GRAFIEKEN BESCHOUWDE STIJGHOOGTEREKSSEN	48
BIJLAGE 2. ALGEMENE TOELICHTING OP DE BOX-JENKINS-METHODE.....	57
BIJLAGE 3. DETAILS VAN DE ONTWIKKELDE TRANSFER-RUISMODELLEN.....	63

SAMENVATTING

Sinds 1981 wordt door Vitens (voorheen WMO) grondwater onttrokken voor de openbare drinkwatervoorziening op de winplaats Boerhaar. Om de invloeden vast te kunnen stellen van deze winning en van het vanaf 1996 uitgevoerde wateraanvoerplan Midden-West, zijn meetreeksen van de stijghoogte¹ geanalyseerd volgens de methode Box-Jenkins. De kern van deze methode is dat voor elke meetreeks afzonderlijk een model wordt ontwikkeld dat de statistische relaties beschrijft met externe factoren, zoals de meteorologische situatie, de winning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West. Zo worden voor elke gemodelleerde meetreeks schattingen verkregen van de statistische relaties met deze factoren.

Als mogelijke invloedsfactoren van de stijghoogte in het onderzoeksgebied zijn bij het modelleren betrokken: (1) de meteorologische situatie, (2) de middeldiepe winning Boerhaar, (3) de verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar, (4) het wateraanvoerplan Midden-West, (5) de oppervlaktewaterstand van de IJssel en (6) de bronbemalingen voor de bouw van het pompstation.

De statistische analyse is toegepast op 47 meetreeksen van de stijghoogte in de omgeving van de winning Boerhaar, om zo een beeld te kunnen scheppen van het ruimtelijke patroon van beïnvloeding. Er zijn 25 meetreeksen gemodelleerd van de stijghoogte in het ondiepe en 22 van de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket. Bij de analyse van 6 van de 47 reeksen kon het wateraanvoerplan niet als invloedsfactor worden meegenomen (reeksen eindigen daarvoor te vroeg) en in 1 van de gevallen kon de middeldiepe winning Boerhaar niet worden meegenomen (reeks start daarvoor te laat).

Invloed middeldiepe winning Boerhaar

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

Invloed wateraanvoerplan Midden-West

Bij de tijdreeksanalyse is per stijghoogtereeks ook de statistische relatie onderzocht met het wateraanvoerplan Midden-West, waarbij onderscheid is gemaakt naar de zomer-, winter- en intermediaire situatie. De geschatte invloed van het wateraanvoerplan in de zomersituatie blijkt in 28 van de 41 gevallen statistisch significant en positief (ondiep is dit in 14 van de 22 gevallen), duidend op verhogingen van de stijghoogte. De maximaal geschatte verhoging bedraagt 34 cm (ondiep watervoerend pakket). Van de overige 13 geschatte veranderingen geven er 11 verhogingen en twee verlagingen aan, zij het de laatste zeer gering (1 cm, voor 27G-P165f1 en -f2). Voor wat betreft de geanalyseerde stijghoogtereeksen is dus de conclusie gerechtvaardigd dat het wateraanvoerplan in vrijwel alle gevallen de stijghoogte heeft verhoogd.

¹ Onder “stijghoogte” wordt hier tevens “grondwaterstand” verstaan.

Netto-invloed middeldiepe winning en wateraanvoerplan

Door het sommeren van de bij de tijdreeksanalyse geschatte invloeden van (1) de middeldiepe winning Boerhaar in de zomersituatie (in de periode 1996 – 2000 bedroeg deze gemiddeld 0,6 miljoen m³/jaar) en (2) het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie, ontstaat een schatting van hun netto-invloed in de zomersituatie. Deze blijkt in 32 van de 40 gevallen een verhoging van de stijghoogte aan te geven en in de overige 8 gevallen een verlaging. Van de 8 geschatte verlagingen hebben er echter 4 betrekking op de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket op de winplaats, vlakbij de winning. En de overige 4 geschatte verlagingen zijn verwaarloosbaar (hooguit 2 cm). Voor wat betreft de geanalyseerde stijghoogtereeksen mogen we dus concluderen dat in dit onderzoeksgebied, afgezien van de stijghoogten in het middeldiepe watervoerende pakket vlakbij de winning, het wateraanvoerplan de verlaging van de stijghoogte door een middeldiepe winning van 0,6 miljoen m³/jaar te Boerhaar afdoende compenseert. In veel gevallen betreft het netto-effect van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan zelfs een verhoging van de stijghoogte, die kan oplopen tot circa 20 cm.

Invloed zwaartepuntsverplaatsing middeldiepe winning

De zwaartepuntsverplaatsing van de middeldiepe winning – circa 230 m – blijkt vooral de stijghoogten in de directe omgeving van de winning te hebben beïnvloed. Voor 8 van de gemodelleerde stijghoogtereeksen bleek er een statistisch significante relatie te bestaan met deze verschuiving, waarvan 2 in het ondiepe en 6 in het middeldiepe watervoerende pakket. De maximale geschatte invloed van de verplaatsing op de stijghoogte bedroeg 44 cm.

Geschatte invloed middeldiepe winning versus resultaten voorgaande studies

De bij deze studie geschatte invloeden van de middeldiepe winning Boerhaar zijn afgezet tegen de verlagingen zoals berekend in vier voorgaande studies, namelijk: (1) een analytische grondwatermodellering, (2) een statistische correlatie-analyse, (3) een 1^e numerieke grondwatermodellering en (4) een 2^e numerieke grondwatermodellering.

De resultaten van deze studie blijken het meest overeen te stemmen met die van de correlatie-analyse, wat niet verwonderlijk is, want beide komen neer op een statistische reconstructie van de beïnvloeding van de stijghoogte, waarbij is gecorrigeerd voor de meteorologische invloed.

Deze studie geeft nabij de winning grotere verlagingen aan in het middeldiepe watervoerende pakket dan het analytische grondwatermodel. En ook geeft deze studie nabij de winning kleinere verlagingen aan in het ondiepe watervoerende pakket dan de twee numerieke grondwatermodellen. Als we er van uitgaan dat de resultaten van deze studie de werkelijkheid beter benaderen, omdat er meer informatie is gehanteerd, kan dit er op duiden dat de verticale hydraulische weerstand van de Eemlaag ter plaatse van de winplaats doorgaans groter is dan is aangenomen bij de analytische en numerieke modelleringen.

Geschatte netto-invloed versus resultaat voorgaande studie

De bij deze studie geschatte netto-invloed van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan, beide in de zomersituatie, kan niet objectief worden afgezet tegen de netto-invloed zoals eerder door het Waterschap Salland berekend met een numerieke grondwatermodellering, doordat:

- (1) het grondwatermodel de netto-invloed heeft berekend van de combinatie van een middeldiepe winning van 3 miljoen m³/jaar en het wateraanvoerplan Midden-West voor de situatie van 14 augustus 1986 – een extreem droge situatie –, terwijl die netto-invloed bij onze studie is berekend als gemiddelde over de maanden juni t/m september van elk van de jaren 1996 t/m 2000 – die niet zo droog waren;
- (2) de bij onze studie berekende netto-invloed heeft betrekking op een middeldiepe winning van een geringere omvang, namelijk 0,6 miljoen m³/jaar. En lineaire extrapolatie van de resultaten naar een andere omvang van de winning is hier niet zinvol, omdat

de netto-invloed van de winning en het wateraanvoerplan niet-lineair zal veranderen met de omvang van de winning.

Verwachte invloed toename middeldiepe winning

Deze studie heeft een beeld opgeleverd van de netto-invloed op de stijghoogte van de combinatie van de middeldiepe winning Boerhaar van 0,6 miljoen m³/jaar en het wateraanvoerplan Midden-West. Het is met de gehanteerde methode echter niet op verantwoorde wijze mogelijk om een beeld te schetsen van de netto-invloed bij een toename van de middeldiepe winning. De resultaten kunnen namelijk hooguit lineair geëxtrapoleerd worden, terwijl er kan worden aangenomen dat het vergroten van de winningsomvang tot een niet-lineaire verandering van de netto-invloed zal leiden.

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de aanpak en de resultaten van een statistisch onderzoek van meetreeksen van de grondwaterstand en de stijghoogte in de omgeving van de grondwaterwinning Boerhaar.

1.1 Achtergronden

Sinds het begin van de jaren tachtig wordt op de winplaats Boerhaar grondwater onttrokken voor de openbare drinkwatervoorziening. De onttrekking geschiedde oorspronkelijk door Waterleiding Maatschappij Overijssel NV (WMO), maar op 17 juli 2002 is dit bedrijf gefuseerd met NV Waterbedrijf Gelderland en Nuon Water tot het nieuwe waterbedrijf Vitens. De onttrekking bedroeg tot voor kort circa 1,2 miljoen m³/jaar, ongeveer gelijk verdeeld over het middeldiepe en het diepe watervoerende pakket. Er wordt aangenomen dat de middeldiepe winning invloed uitoefent op de grondwaterstand in het ondiepe watervoerende pakket. Ter compensatie van winningseffecten wordt sinds 1996 in samenwerking met het waterschap Groot Salland ook water aangevoerd naar het gebied (het wateraanvoerplan Midden-West).

Vraagstelling

Vanuit verschillende oogpunten is het wenselijk geworden om nu vast te stellen: a) in hoeverre de middeldiepe winning de grondwaterstand in het ondiepe watervoerende pakket en de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket heeft beïnvloed; b) in hoeverre de opgetreden invloeden van de winning overeenstemmen met de in het verleden opgestelde verwachtingen; c) wat de toekomstige invloeden van de winning kunnen zijn; d) in hoeverre het wateraanvoerplan de grondwaterstand in het ondiepe watervoerende pakket en de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket heeft beïnvloed en e) in hoeverre de opgetreden invloeden van het wateraanvoerplan overeenstemmen met de in het verleden opgestelde verwachtingen. Voor wat betreft de winning Boerhaar dienen in het bijzonder de invloeden te worden vastgesteld van de start van de middeldiepe winning met één pompput in 1981 en de vervanging en uitbreiding met enkele pompputten vanaf 1991, leidend tot een verplaatsing van het zwaartepunt van die winning.

WMO heeft op 19 december 2001 aan Icastat Statistisch Adviesbureau verzocht bovenvermelde vragen te beantwoorden aan de hand van een statistische analyse van de meetreeksen van de grondwaterstand en de stijghoogte in de omgeving van de winplaats Boerhaar.

1.2 Doelstelling van dit project

Het doel van dit project is de in § 1.1 vermelde vragen te beantwoorden aan de hand van een statistisch onderzoek van de meetreeksen van de grondwaterstand en de stijghoogte in de omgeving van de winplaats Boerhaar.

Gebruik van de term "stijghoogten" in dit rapport

Uit overwegingen van efficiëntie gebruiken wij in dit rapport de term "stijghoogten" vanaf hier meestal in brede zin, zodat daarmee naast de stijghoogten van het grondwater in (gedeeltelijk) afgesloten watervoerende pakketten ook de grondwaterstanden in het ondiepe, freatische watervoerende pakket kunnen worden aangeduid.

1.3 Aanpak op hoofdlijnen

Om de invloeden vast te kunnen stellen van de winning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West op de stijghoogten, hebben wij de stijghoogtereeksen in de omgeving geanalyseerd volgens de methode Box-Jenkins (zie bijlage 2 voor een algemene toelichting). Deze methode wordt sinds het midden van de jaren tachtig in toenemende mate in Nederland toegepast bij reconstruerend hydrologisch onderzoek en komt neer op een statistische reconstructie van de invloeden die een stijghoogte heeft ondergaan. De methode is reeds lang beproefd in de praktijk en heeft daarbij ondermeer bewezen een geschikte mogelijkheid te bieden om verwachte invloeden, zoals berekend met een hoofdzakelijk op de theorie gebaseerd hydrologisch model, te toetsen aan empirische informatie, die besloten is in stijghoogtereeksen.

Met de Box-Jenkins-methode is er per stijghoogtereeks een statistisch model ontwikkeld dat de relaties legt tussen de stijghoogte en zijn kandidaat-invloedsfactoren, zoals hier de middeldiepe winning Boerhaar, zijn zwaartepuntsverplaatsing en het wateraanvoerplan Midden-West. De resultaten van deze modellen zijn in dit rapport op verschillende wijzen gepresenteerd – zowel tabelmatig als grafisch – en vervolgens vergeleken met de invloeden zoals die tijdens voorgaande studies theoretisch zijn afgeleid. Ook wordt op basis van de resultaten nagegaan of er verwachtingen kunnen worden opgesteld van de toekomstige invloeden van de winning Boerhaar.

Wij hebben voor de tijdreeksanalyse gebruik gemaakt van het pakket Box-Jenkins for Windows, van Jenkins & Partners Ltd. te Lancaster (UK). Laatstgenoemd bedrijf, opgericht door één van de geestelijke vaders van de Box-Jenkins-methode, heeft ruim 30 jaar internationale ervaring opgedaan in het analyseren van tijdreeksen en zijn software kan worden gezien als toonaangevend op dit terrein.

1.4 Over dit rapport

Na deze inleiding beschrijft hoofdstuk 2 de bevindingen van een gebiedsinventarisatie. Hoofdstuk 3 geeft de details van de aanpak die wij hebben gevolgd om de doelstelling, genoemd in § 1.2, te verwezenlijken. De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 4 en vervolgens in hoofdstuk 5 tabelmatig en grafisch vergeleken met de resultaten van enkele voorgaande studies. Hoofdstuk 6 gaat in op de extrapolatie van de resultaten van deze studie naar toekomstige winnings-scenario's. Het hoofddeel van het rapport sluit af met een alfabetische lijst van de referenties.

Dit rapport bevat 3 bijlagen. Bijlage 1 presenteert de grafieken van alle beschouwde stijghoogtereeksen. Bijlage 2 geeft een algemene, theoretische toelichting op de gehanteerde Box-Jenkins-methode, met aandacht voor de parameters van het algemene transfer-ruismodel. En in bijlage 3 zijn de details vermeld van de ontwikkelde transfer-ruismodellen van de stijghoogte.

Aan het eind van dit rapport treft u 3 overzichtskaarten aan. Kaart 1 geeft een overzicht van de locaties van de grondwaterwinning Boerhaar en de peilbuizen. Op kaart 2 zijn de geschatte invloeden vermeld van de middeldiepe winning Boerhaar en op kaart 3 zijn de geschatte netto-invloeden vermeld van de combinatie van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan Midden-West, beide in de zomersituatie.

2 Gebiedsinventarisatie

Bij het statistisch modelleren van de stijghoogte is het van belang om vóóraf een gedegen gebiedsinventarisatie uit te voeren, opdat alle externe factoren die relevante invloed op de stijghoogte kunnen hebben worden geïdentificeerd en vervolgens zo goed mogelijk bij de modellering kunnen worden verdisconteerd. Als dit niet afdoende gebeurt, kunnen namelijk de schattingen van de invloeden van de wél bij de modellering betrokken factoren vertekend raken.

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de gebiedsinventarisatie, met aandacht voor de geografische situatie (§ 2.1), de geohydrologische situatie (§ 2.2), de meteorologische omstandigheden (§ 2.3), de grondwateronttrekkingen (§ 2.4) en de waterhuishoudkundige situatie (§ 2.5).

2.1 Geografische situatie

Het onderzoeksgebied maakt deel uit van de IJsselvallei en ligt ten westen van het Overijssels Kanaal tussen Deventer en Raalte en ten oosten van de dorpen Wijhe en Olst (zie kaart 1). Het staat bekend als het gebied Broekland – Boerhaar.

Het is overwegend een zandgebied, maar in het westen komen ook kleigronden voor. Het landgebruik is voornamelijk grasland, afgewisseld door enkele percelen bouwland (mais). Verspreid over het gebied komen ook enkele bossen voor.

Het gebied helt van het oosten (circa 6 m boven NAP) naar het westen (circa 2 m boven NAP).

2.2 Geohydrologische situatie

Het inzicht in de opbouw van de ondergrond in de omgeving van de winplaats Boerhaar is gebaseerd op de boorbeschrijvingen en boorgatmetingen van enkele tientallen boringen die door WMO zijn uitgevoerd om peilbuizen te plaatsen en op pompproeven. Afhankelijk van het al of niet voorkomen van de weerstandsbiedende Eemlaag kunnen in de omgeving twee of drie watervoerende pakketten worden onderscheiden (zie figuur 2.1), met één of twee scheidende lagen.

Figuur 2.1: Geohydrologisch schema van de ondergrond rond de winplaats Boerhaar.

Diepte (m -mv)	Formatie	Materiaal	Aanduiding	Bodemkarakteristiek kD c	winning Boerhaar
1	Holoceen	rivierklei / veen			
10	Twente en Kreftenheije	grof zand	ondiepe watervoerend pakket	470 m ² /d	
16	Eemlaag	kleien, soms weinig	slecht doorlatend pakket	290 d	
	Kreftenheije	grof zand met grind	middeldiep watervoerend pakket	820 m ² /d	
40	Drenthe	fluvioglaciale klei	slecht doorlatend pakket	>>>	
85	Plioceen	matig / zeer grof zand lenzen klei / fijn zand	diep watervoerend pakket	1080 m ² /d	
175	Mioceen	matig fijn / grof zand zware klei	geohydrologische basis		

Van boven naar beneden gaande treffen we de volgende pakketten aan:

- (1) ondiepe watervoerende pakket, vanaf maaiveld tot circa 10 m onder maaiveld. Het bestaat uit grof zand, behorende tot de Formaties van Twente en Kreftenheije. In het wes-

telijk deel van het gebied kan dit pakket lokaal zijn afgedekt door een dunne laag Holocene klei;

- (2) eerste slecht doorlatend pakket, de Eemlaag, van circa 10 tot 16 m onder maaiveld. In de Formatie van Kreftenheije komen op enkele plaatsen continentale kleiïge en venige afzettingen voor, afgezet in de Eemien-periode. De diepte van de bovenkant ten opzichte van maaiveld varieert door samendrukking van de venige componenten. Ook de dikte en de verbreiding variëren sterk. De laag komt dan ook niet aaneengesloten voor. De dikte bedraagt maximaal circa 10 meter;
- (3) middeldiepe watervoerende pakket, van circa 16 tot 40 m onder maaiveld. Het bestaat uit zeer grof tot uiterst grof zand met grind, behorende tot de Formatie van Kreftenheije;
- (4) tweede slecht doorlatend pakket, de Formatie van Drenthe, van circa 40 tot 85 m onder maaiveld. Het bestaat uit fluvioglaciale klei, afgewisseld met enkele fijnzandige laagjes;
- (5) diepe watervoerende pakket, van circa 80 tot 175 m onder maaiveld. Het bestaat uit zanden die zijn afgezet tijdens het Pliocen. De bovenste helft van dit pakket bevat matig grof tot zeer grof zand en de onderste helft matig fijn tot matig grove zanden. Door het gehele pakket komen plaatselijk dunne kleilagen en fijnzandige lagen voor. Het grensvlak tussen zoet en zout grondwater ligt in dit pakket ergens tussen 140 m (in het westen) en 115 m onder maaiveld (in het oosten);
- (6) geohydrologische basis, de Miocene klei, vanaf circa 175 m onder maaiveld. Deze klei komt over een groot gebied voor en is zeer dik

In het middeldiepe watervoerende pakket is de natuurlijke stroming van het zuidoosten naar het noordwesten. En in het diepe watervoerende pakket stroomt het grondwater toe vanuit het oosten (de stuwwal Ommen-Holten) en het westen (de Veluwe), om vervolgens in het centrum van Salland af te buigen naar het noorden.

De verticale hydraulische weerstand van de fluvioglaciale klei van de Formatie van Drenthe is in het onderzoeksgebied dermate groot, dat dit slecht doorlatende pakket bij onderzoek naar de invloed van de onttrekking uit het bovenliggende middeldiepe watervoerende pakket als een lokale geohydrologische basis kan worden beschouwd (zie bijvoorbeeld [Olsthoorn en Boukes, 1982]).

2.3 Meteorologische omstandigheden

De belangrijkste invloedsfactor van de stijghoogte is doorgaans het neerslagoverschot, maar daar zijn helaas geen meetgegevens over beschikbaar. Als theoretische benadering van het neerslagoverschot kan echter het potentieel neerslagoverschot dienen. Deze wordt berekend uit de neerslag en de verdamping, bijvoorbeeld op maandbasis volgens:

$$PNO_t = N_t - f \cdot E_{Penman,t}$$

met PNO_t het potentieel neerslagoverschot in maand t (mm/maand), N_t de neerslag in maand t (mm/maand), $E_{Penman,t}$ de Penman-verdamping in maand t (mm/maand) en f de gewasfactor. Deze laatste dient om de Penman-verdamping, die geldt voor een open wateroppervlak, om te rekenen naar de potentiële verdamping voor een bepaald gewasstype. De gewasfactor zal zowel in de ruimte als in de tijd als variëren, maar het KNMI adviseert als gemiddelde jaarwaarde voor Nederland $f = 0,7$ aan te houden [KNMI, 1972].

Zowel de neerslag als de verdamping worden door het KNMI geregistreerd op meerdere meteorologische stations in Nederland. WMO heeft ons voor dit onderzoek gegevens van een viertal meteorologische stations ter beschikking gesteld, namelijk:

- 1) neerslagcijfers van het meteorologische station Heino, over de periode januari 1967 t/m december 2001;

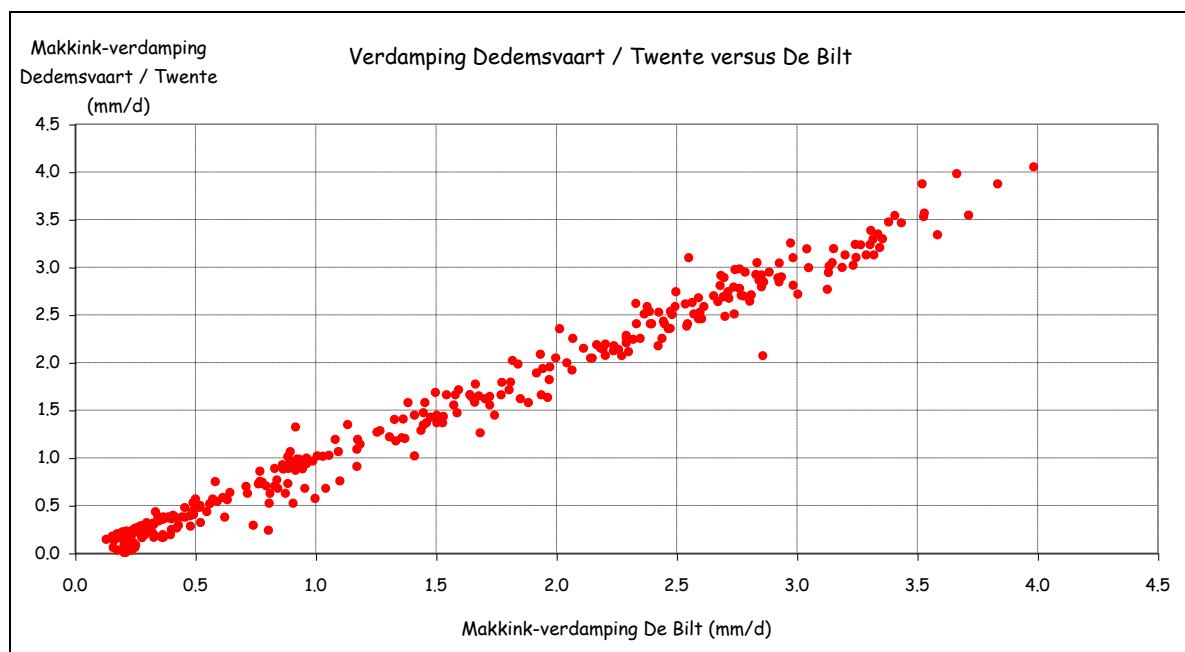
- 2) Penman-verdampingscijfers van het meteorologische station Dedemsvaart, over de periode januari 1967 t/m december 1979;
- 3) Makkink-verdampingscijfers van het meteorologische station Twente, over de periode mei 1987 t/m december 2001;
- 4) Makkink-verdampingscijfers van het meteorologische station De Bilt, over de periode januari 1967 t/m december 2001.

De meteorologische stations Dedemsvaart en Twente liggen weliswaar dichterbij het onderzoeksgebied dan het meteorologische station De Bilt, maar de meetreeksen van de verdamping te Dedemsvaart en Twente zijn beide té kort en ze sluiten bovendien niet op elkaar aan. Van het meteorologische station De Bilt is daarentegen wél een lange, consistente meetreeks van de verdamping beschikbaar. We zijn daarom nagegaan of de verdamping, gemeten in De Bilt, voldoende overeenstemt met die gemeten in Dedemsvaart en Twente. Daartoe is eerst de meetreeks met maandsommen van de Penman-verdamping in Dedemsvaart omgerekend naar een meetreeks van de Makkink-verdamping, volgens:

$$E_{Makkink, t} = \frac{E_{Penman, t}}{1,25}$$

Vervolgens is het maandgemiddelde van de Makkink-verdamping in Dedemsvaart / Twente uitgezet tegen die in De Bilt, alle uitgedrukt in mm/dag (zie figuur 2.2).

Figuur 2.2: Relatie tussen de maandgemiddelde Makkink-verdamping in Dedemsvaart / Twente en die in De Bilt.



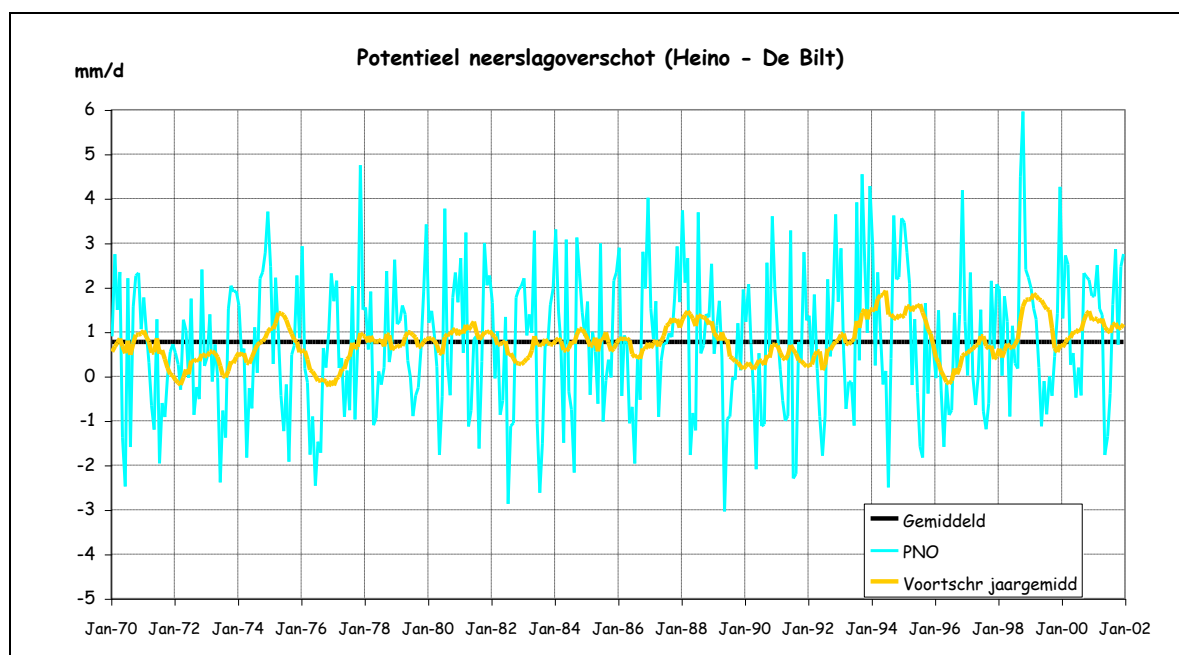
Zoals uit figuur 2.2 blijkt, is er een goede relatie tussen de Makkink-verdamping in Dedemsvaart / Twente en die in De Bilt (de correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,992). Daarom hebben wij voor dit onderzoek de meetreeks van de verdamping in De Bilt voldoende representatief geacht voor de verdamping in het onderzoeksgebied.

De gegevens over de neerslag en verdamping zijn beschikbaar gesteld als maandsommen. Daaruit is de reeks van de maandsom van het potentieel neerslagoverschot berekend. Om te corrigeren voor de maandlengte hebben wij deze vervolgens omgezet naar een reeks van het maandgemiddelde potentieel neerslagoverschot (uitgedrukt in mm/dag), volgens:

$$pno_t = \frac{PNO_t}{l_t}$$

met pno_t het gemiddelde potentieel neerslagoverschot in maand t (mm/dag), PNO_t de maandsom van het potentieel neerslagoverschot in maand t (mm/maand) en l_t het aantal dagen in maand t . Het verloop van dit maandgemiddelde potentieel neerslagoverschot is weergegeven in figuur 2.3. Uit het tevens in deze figuur weergegeven voortschrijdende jaargemiddelde blijkt dat de jaren 1976, 1989 en 1995 als droge jaren en de jaren 1993, 1994 en 1998 als natte jaren kunnen worden aangemerkt.

Figuur 2.3: Verloop van het maandgemiddelde potentieel neerslagoverschot, zoals berekend uit de neerslag te Heino en de verdamping te De Bilt. Tevens is het voortschrijdend jaargemiddelde weergegeven.



2.4 Grondwateronttrekkingen

In het onderzoeksgebied komen verschillende grondwateronttrekkingen voor die invloed kunnen uitoefenen op de stijghoogte, namelijk de winning Boerhaar, industriële grondwateronttrekkingen en onttrekkingen voor agrarische doeleinden.

2.4.1 Grondwateronttrekking te Boerhaar

Vitens onttrekt sinds april 1981 grondwater op de winplaats Boerhaar, zowel uit het middeldiepe als uit het diepe watervoerende pakket. In eerste instantie gebeurde dit met 1 pompput per pakket, maar vanaf 1993 worden er 4 pompputten gehanteerd voor het middeldiepe en 7 voor het diepe watervoerende pakket. De diepe pompputten zijn sterk gespreid, om de verlaging in het diepe watervoerende pakket beperkt te houden, zodat er geen brak/zout grondwater wordt aangetrokken.

WMO heeft per pompput de onttrekkingsreeks beschikbaar gesteld op weekbasis, vanaf de start van de winning, op 6 april 1981, tot en met 17 december 2001. De winning Boerhaar ligt sindsdien stil, vanwege zuiverings-technische overwegingen. De geleverde onttrekkingsreeksen zijn door WMO berekend uit meetreeksen van pompuren, pompcapaciteiten, hoeveelheid reinwater en hoeveelheid spoelwater. De benodigde gegevens waren echter niet over de gehele periode beschikbaar of waren soms onzeker en deze moesten dan worden geraamd of handmatig gecorrigeerd, zodat de betrouwbaarheid van de berekende onttrekkingsreeksen kan variëren [WMO, 2002].

We hebben per pompput de beschikbaar gestelde onttrekkingsreeks op weekbasis ($m^3/week$) omgerekend naar een onttrekkingsreeks op maandbasis ($m^3/maand$). Deze

reeksen hebben we aangevuld met de onttrekkingen tijdens twee eerder uitgevoerde pompproeven, namelijk:

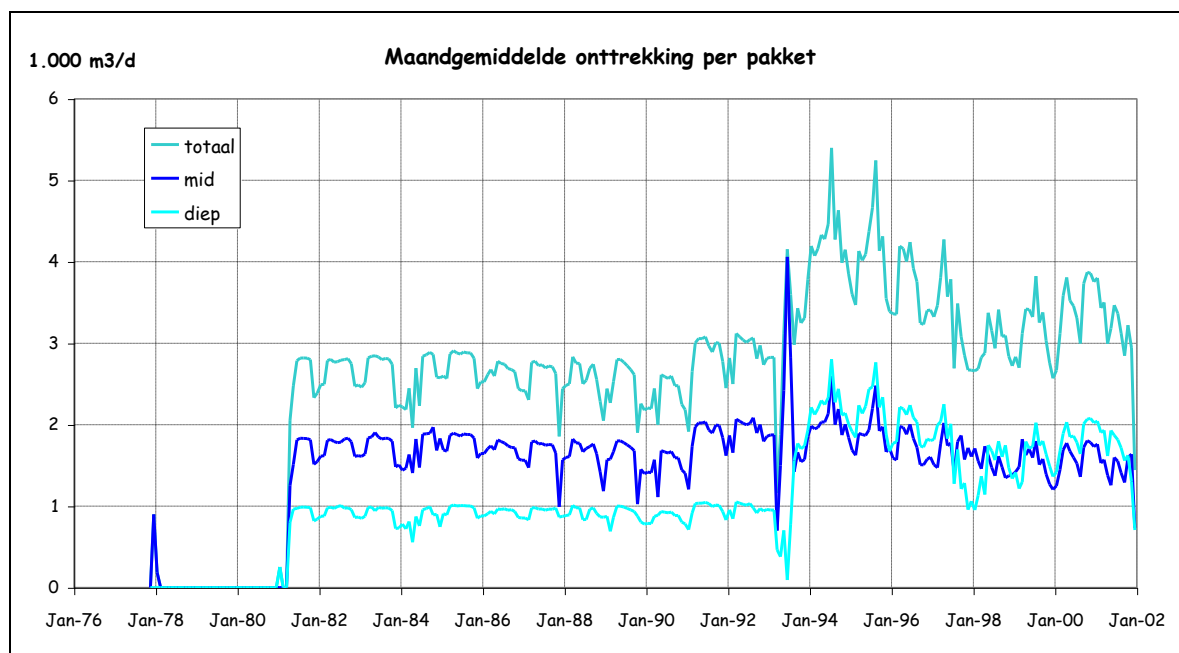
- 1) een pompproef in het middeldiepe watervoerende pakket (pompput 1), uitgevoerd van 20 december 1977 tot 3 januari 1978 [WMO, 1980];
- 2) een pompproef in het diepe watervoerende pakket (pompput 2), uitgevoerd van 15 januari tot 19 januari 1981 [WMO, 1982a].

Vervolgens zijn de onttrekkingsreeksen van de pomputten in hetzelfde watervoerende pakket gesommeerd tot de onttrekkingsreeks van dat winpakket. Om te corrigeren voor de maandlengte is elke maandsom van de onttrekking omgezet naar de gemiddelde onttrekking in die maand, uitgedrukt in 1.000 m³/dag, volgens:

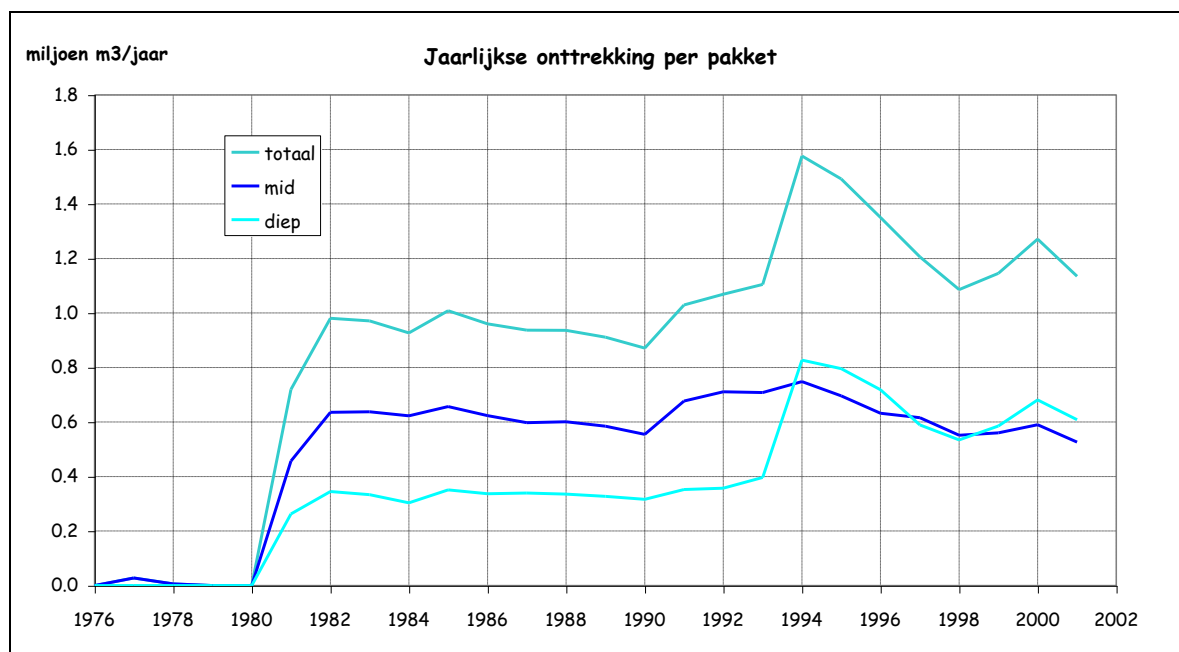
$$q_t = \frac{Q_t}{l_t \cdot 1.000}$$

met q_t de gemiddelde onttrekking in maand t (1.000 m³/dag), Q_t de maandsom van de onttrekking in maand t (m³/maand) en l_t het aantal dagen in maand t . De zo resulterende onttrekkingsreeksen zijn weergegeven in figuur 2.4. De onttrekkingsreeksen zijn tevens weergegeven op jaarbasis, in figuur 2.5.

Figuur 2.4: Verloop van de maandgemiddelde grondwateronttrekking op de winplaats Boerhaar, met onderscheid naar de twee winpakketten en het totaal.



Figuur 2.5: Verloop van de jaarlijkse grondwateronttrekking op de winplaats Boerhaar, met onderscheid naar de twee winpakketten en het totaal.



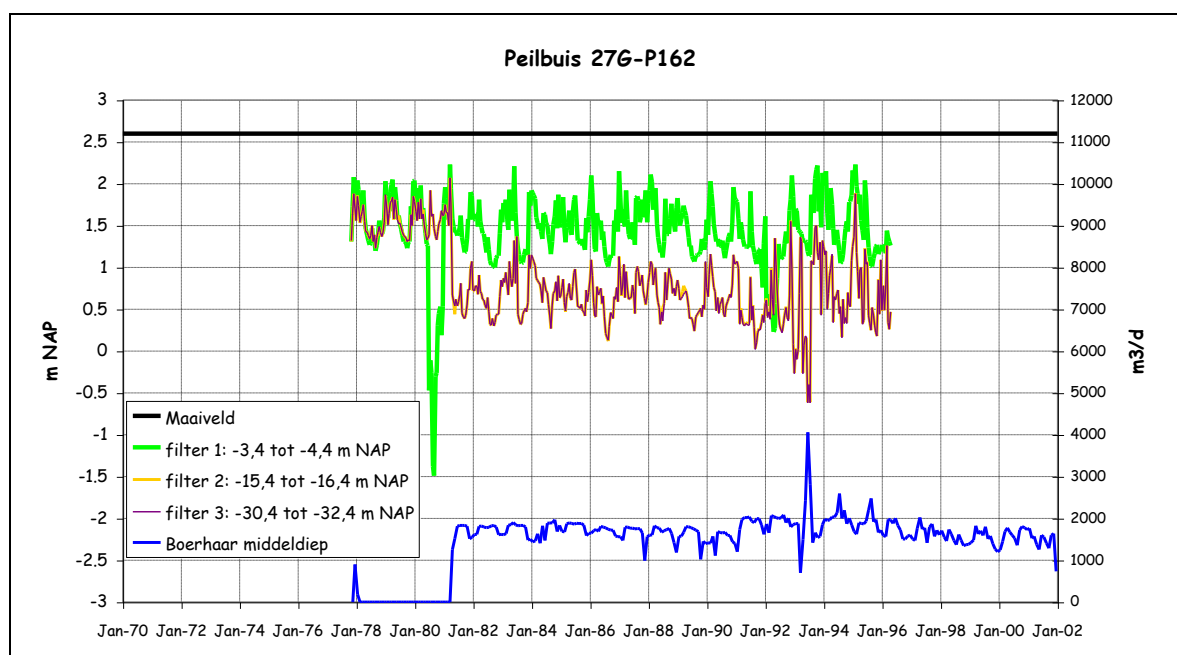
Vanaf de start van de winning tot april 1993 omvatte de middeldiepe winning slechts 1 pompput. Tot februari 1991 was dit pompput 1 en daarna pompput 3 (pompput 1 is toen verlaten). Vanaf april 1993 zijn er twee pompputten bijgekomen (pompputten 4 en 5) en vanaf mei 1993 nog één (pompput 6). Deze veranderingen hebben geleid tot een stapsgewijze verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning van circa 230 m naar het noord-noordoosten. Dit zal de stijghoogte vlakbij de winning hebben beïnvloed, zodat het zaak is daar bij de statistische modellering rekening mee te houden (zie § 3.1.4).

In 1993 heeft WMO een aanpassing van de vergunning aangevraagd, om 3,15 miljoen m³/jaar te kunnen onttrekken uit het middeldiepe watervoerende pakket. De diepe winning zal daarbij komen te vervallen.

Bronbemalingen op winplaats

Uit visuele inspectie van de stijghoogtereeksen kon worden afgeleid dat er op de winplaats vermoedelijk tweemaal bronbemalingen zijn uitgevoerd, omdat in die omgeving op twee momenten de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket sterk is verlaagd, zonder dat dit gepaard ging met een gelijktijdige verlaging in het middeldiepe watervoerende pakket (zie het voorbeeld in figuur 2.6). Uit navraag bij WMO bleek er inderdaad een bronbemaling te zijn uitgevoerd voor de aanleg van het pompstation, in de zomer van 1980. Tevens bleek er in februari 1992 een bronbemaling te zijn uitgevoerd voor de uitbreiding van het pompstation. Voor geen van beide gevallen is echter de exacte duur van de ingreep of het afgepompte debiet bekend.

Figuur 2.6: Voorbeeld van de geïsoleerde verlagingen van de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket op de winplaats, optredend in de zomer van 1980 en rond februari 1992.



2.4.2 Grondwaterontrekkingen voor industriële en agrarische doeleinden

Van de Provincie Overijssel zijn gegevens ontvangen van de industriële grondwateronttrekkingen in het onderzoeksgebied. Er zijn enkele relevante winningen (minstens 100.000 m³/jaar) in de gemeente Olst, voor de vlees-, zuivel- en steenindustrie. Ook zijn er enkele relevante winningen in de gemeente Raalte, voor de vlees-, zuivel-, rubber- en betonindustrie en voor een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Van elk van de industriële winningen is nagegaan of deze één van de voor dit onderzoek geselecteerde stijghoogtereeksen (zie § 3.2) kan hebben beïnvloed, waarbij is afgegaan op de omvang van die winning, zijn veronderstelde invloedsstraal en de afstanden tot de geselecteerde peilbuizen. Daaruit bleek dat alleen voor peilbuis 27G-P109, gelegen op 1,4 tot 1,7 km van de industriële winningen te Olst, een dergelijke invloed niet valt uit te sluiten. Er waren geen geschikte meetreeksen van de betreffende winningen beschikbaar om hun mogelijke invloed bij de tijdreeksanalyse van de stijghoogten in peilbuis 27G-P109 te kunnen verdisconteren. Het is echter niet te verwachten dat dit de schattingen van de invloeden van de grondwaterwinning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West op die stijghoogten nadelig kan hebben beïnvloed. De tijdreeksen van deze twee factoren zijn namelijk dermate uniek, dat het vrijwel uitgesloten is dat ze gecorreleerd zijn aan één van de industriële winningen te Olst.

In het gebied wordt plaatselijk ook voor agrarische doeleinden grondwater onttrokken aan het ondiepe en/of middeldiepe watervoerende pakket. De grondwateronttrekkingen voor beregening zullen in droge perioden plaatsvinden en kunnen invloed uitoefenen op de stijghoogten. Maar doordat het doorgaans kleine onttrekkingen betreft, zal hun invloed op de stijghoogte zeer lokaal en gering zijn. Door het ontbreken van meetreeksen van deze onttrekkingen, kunnen ze niet als externe factor worden verdisconteerd bij het modelleren. Het valt daarom niet uit te sluiten dat een dergelijke invloed bij het statistisch modelleren van een stijghoogtereeks ten dele wordt toegekend aan een wél bij de modellering betrokken externe factor, als het verloop van die laatste enigszins gecorreleerd is aan dat van de beregening. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn voor het potentieel neerslagoverschot. In andere gevallen zal de invloed zijn verdisconteerd in het ruismodel. Het is niet te

verwachten dat de schattingen van de invloeden van de grondwaterwinning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West daardoor onzuiverder worden.

2.5 Waterhuishoudkundige situatie

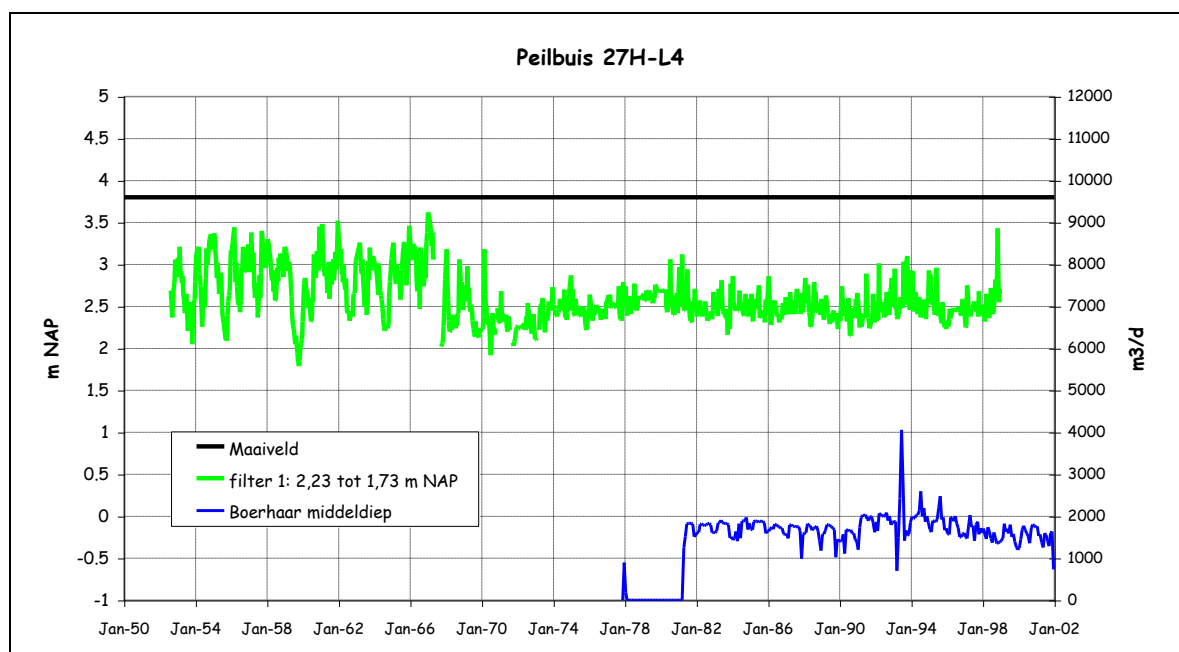
De waterhuishoudkundige situatie wordt in onderstaande in twee delen besproken, namelijk: (1) de wateraanvoer en -afvoer en (2) de waterstand van de IJssel.

2.5.1 Wateraanvoer en -afvoer

Rond de winplaats bevinden zich meerdere waterlopen waar het peil wordt beheerst, wat in principe het fluctueren en daarmee het verlagen van de grondwaterstand zal beperken. De meeste waterlopen staan in contact met het ondiepe watervoerende pakket. De Oude Wetering, die op circa 0,5 km ten westen van de winplaats noord-zuid loopt, staat plaatselijk ook in verbinding met het middeldiepe watervoerende pakket, vooral waar de Eemlaag ontbreekt [WMO, 1980].

Tussen 1960 en 1970 is het stelsel van waterlopen in de ruime omgeving aangepast, in eerste instantie om de afvoer te verbeteren. De invloed van deze ingreep op de stijghoogte valt waar te nemen in enkele langere stijghoogtereeksen (zie het voorbeeld in figuur 2.7).

Figuur 2.7: Voorbeeld van de invloed van de aanpassing van het stelsel van waterlopen tussen 1960 en 1970. Peilbuis 27H-L4 bevindt zich circa 3 km ten oosten van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.



Daarnaast zijn er bij het Overijssels Kanaal enkele inlaatwerken geplaatst, die het mogelijk maken de grote doorgaande waterlopen ook in droge perioden op peil te houden. Het benodigde water hiervoor kan in Deventer met het gemaal Ankersmit uit de IJssel in het Overijssels Kanaal worden gepompt. Doordat het gebied afloopt naar het westen loopt het water onder vrij verval westwaarts.

In een later stadium is specifiek voor het gebied Broekland – Boerhaar, direct rond de winplaats, het watervoorzieningsplan Midden-West ontwikkeld. Het plan heeft als doelen: (1) water aan te voeren voor infiltratie en beregening van landbouwgronden, (2) de gevolgen te compenseren van de grondwaterwinning te Boerhaar en (3) water aan te voeren voor het bestrijden van de bestaande verdroging van de natuur. Het streeft naar een zoda-

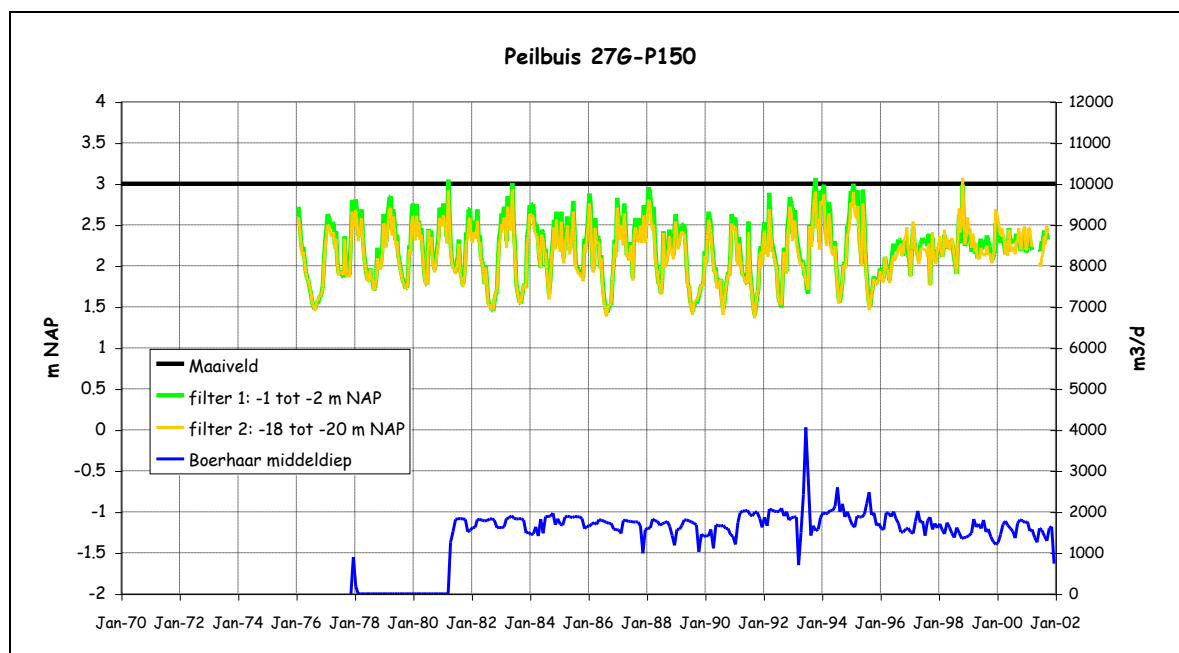
nige wateraanvoer dat optimaal wordt voldaan aan de wensen van de landbouw, de drinkwatervoorziening en de natuur. Daartoe zijn nieuwe waterlopen gegraven en gekoppeld aan reeds bestaande en zijn ook enkele waterlopen verbeterd. Verder is een aantal stuwen gebouwd om hogere stuwpeilen te realiseren. Om de grondwaterstanden in het gebied direct rondom de winplaats Boerhaar te kunnen compenseren voor de grondwaterwinning zijn twee gemalen bijgeplaatst. Het gemaal Rietberg – in 1994 in gebruik genomen – dient om in het noorden van het gebied water uit de Soestwetering in de Koppelleiding te pompen, dat vervolgens via de Nieuwe Wetering zuidwaarts stroomt en bij de stuw bij de Oude Deventerweg met het gemaal Broekland in een nieuw gegraven waterloop wordt gepompt, vanwaar het westwaarts afstroomt, naar het gebied direct rond de winplaats.

Het oorspronkelijke watervoorzieningsplan Midden-West ging uit van een grondwaterwinning van 4 miljoen m³/jaar, gelijk verdeeld over het middeldiepe en het diepe watervoerende pakket [WMO en Waterschap Salland, 1990]. Maar na een herziening houdt het plan rekening met een grondwaterwinning van 3 miljoen m³/jaar uit het middeldiepe watervoerende pakket [Waterschap Salland, 1994].

Door al deze ingrepen is het totale natte oppervlak vergroot en zijn de zomerpeilen op een hoger niveau gebracht, opdat het oppervlaktewater meer invloed kon krijgen op het grondwater en de grondwaterstanden zouden stijgen.

Volgens opgaaf van het waterschap is de wateraanvoer rond pasen (7 en 8 april) van het jaar 1996 gestart. De invloed van het wateraanvoerplan is in enkele stijghoogtereeksen duidelijk te herkennen aan een sterke reductie van de seizoensmatige fluctuaties vanaf 1996 (zie het voorbeeld in figuur 2.8).

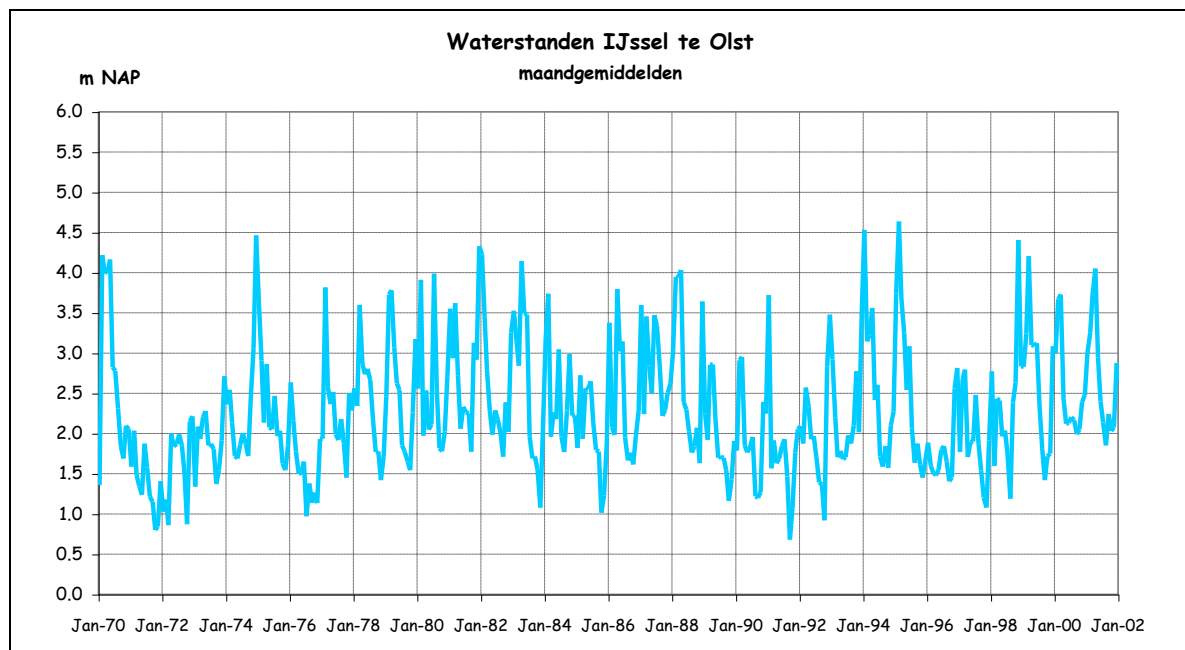
Figuur 2.8: Voorbeeld van de invloed van het wateraanvoerplan Midden-West. Peilbuis 27G-P150 bevindt zich circa 1,5 km ten zuiden van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.



2.5.2 Waterstand van de IJssel

Op circa 3,5 km ten westen van de winplaats Boerhaar ligt de IJssel, die zich enigszins kronkelend in een noord-zuid-richting uitstrekt. Het is aannemelijk dat de waterstand van de IJssel invloed uitoefent op de stijghoogten in de omgeving. Daarom hebben wij bij het RIZA de waterstanden van de IJssel ter plaatse van de naburige meetlocaties Olst en Wijhe opgevraagd. Deze zijn voor beide locaties beschikbaar gesteld op dagbasis (meting 08:00 uur), vanaf 1 januari 1970. De reeks van Wijhe eindigt in december 2000, terwijl de reeks van Olst doorloopt tot en met januari 2002. Uit visuele inspectie van het verloop van beide reeksen bleken ze grotendeels identiek (de correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,998), zij het dat de waterstand te Olst steeds hoger is dan die te Wijhe. Gezien de overeenstemming van de reeksen hebben wij voor dit onderzoek de waterstanden te Olst gehanteerd (zie figuur 2.9).

Figuur 2.9: Verloop van de maandgemiddelde waterstand van de IJssel bij de meetlocatie Olst.



3 Aanpak van de tijdreeksanalyse

Om de invloeden van de winning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West op de stijghoogte in de omgeving te kunnen reconstrueren, is per stijghoogtereeks een statistisch model ontwikkeld dat de stijghoogte beschrijft als functie van zijn invloedsfactoren. Als mogelijke invloedsfactoren van de stijghoogte in het onderzoeksgebied komen in aanmerking:

- 1) de meteorologische situatie;
- 2) de middeldiepe winning Boerhaar;
- 3) de verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar;
- 4) het wateraanvoerplan Midden-West;
- 5) de oppervlaktewaterstand van de IJssel;
- 6) de bronbemalingen voor de bouw van het pompstation.

De statistische modellering levert voor elke bij de modellering betrokken factor een schatting op van zijn (stationaire) statistische relatie met de betreffende stijghoogte, evenals het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval. Hiermee kunnen we vaststellen of de geschatte relaties van de stijghoogte met de middeldiepe winning te Boerhaar, zijn zwaartepuntsverplaatsing en het wateraanvoerplan al dan niet statistisch significant zijn (zie bijlage 2 voor een toelichting). En door deze analyse toe te passen op de stijghoogtereeksen van een groot aantal peilbuizen in de omgeving van de winning, kan voor elk van de betrokken factoren het ruimtelijke patroon worden geschetst van de relatie met de stijghoogten.

In § 3.1 worden de belangrijkste keuzen bij de modelontwikkeling toegelicht. En in § 3.2 is aangegeven hoe tot een selectie van stijghoogtereeksen voor dit onderzoek is gekomen en hoe de stijghoogtegegevens geschikt zijn gemaakt voor de tijdreeksanalyse.

3.1 Keuzen voor de modelontwikkeling

Voor de ontwikkeling van een statistisch model van een stijghoogtereeks biedt de door Box en Jenkins aanbevolen iteratieve aanpak een geschikt kader, met als onderdelen: 1) modelidentificatie, 2) schatting modelparameters en 3) verificatie van het model [Box and Jenkins, 1976]. Maar zelfs binnen deze gestructureerde aanpak zijn er nog vele detailkeuzen nodig. Zo moet worden besloten:

- a) wat de meest geschikte tijdseenheid is voor het modelleren (§ 3.1.1);
- b) hoe de mogelijke invloedsfactoren bij de modellering te betrekken. Hier zijn dit:
 - ❖ de meteorologische situatie (§ 3.1.2);
 - ❖ de middeldiepe winning Boerhaar (§ 3.1.3);
 - ❖ de verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar (§ 3.1.4);
 - ❖ het wateraanvoerplan Midden-West (§ 3.1.5);
 - ❖ de oppervlaktewaterstand van de IJssel (§ 3.1.6);
 - ❖ de bronbemalingen voor de bouw van het pompstation (§ 3.1.7).

3.1.1 Te hanteren tijdseenheid bij het modelleren

Om tot verantwoorde modellen te kunnen komen, dient de tijdseenheid die wordt gehanteerd bij het modelleren van de stijghoogte aan te sluiten op de dynamiek van de verschillende processen die de stijghoogte beïnvloeden. Daarbij is met name van belang welke responstijden optreden, oftewel hoe lang het duurt voordat de invloed van een verandering van een invloedsfactor op de grondwaterstand of stijghoogte is uitgewerkt.

Omdat uit analytische hydrologische berekeningen en gevoeligheidsanalyse bleek dat de responstijd van de stijghoogte op een verandering van de middeldiepe grondwaterwin-

ning te Boerhaar in de orde van één á drie maanden ligt (zie § 3.1.3), is gekozen voor het modelleren op *maand*basis. Dit houdt in dat alle betrokken tijdreeksen zijn omgezet tot reeksen van maandelijkse waarden. De stijghoogtereeksen zijn weliswaar beschikbaar als halfmaandelijkse meetwaarden, maar het is onpraktisch te modelleren met de halve maand als tijdseenheid. De gegevens van relevante externe factoren, zoals meteorologische variabelen en de grondwateronttrekking zijn namelijk eenvoudiger beschikbaar op maandbasis. Verder zal het verlies aan informatie over het verloop van de stijghoogte door het middelen van halfmaandelijkse naar maandelijkse waarden gering zijn, gezien de grote autocorrelatie (op te vatten als een maat voor de overlap in informatie) van halfmaandelijkse waarden van de stijghoogte.

3.1.2 Modelleren meteorologische omstandigheden

De meteorologische omstandigheden vormen doorgaans de belangrijkste invloedsfactor van de stijghoogte, zodat het van groot belang is deze afdoende te verdisconteren bij het statistisch modelleren van de stijghoogte. Er zijn verschillende manieren om de meteorologische omstandigheden te verdisconteren bij het modelleren. Bij dit onderzoek zijn de volgende twee manieren beschouwd:

- 1) opnemen van het potentieel neerslagoverschot als invloedsfactor in het model;
- 2) opnemen van de stijghoogte in een stambuis als invloedsfactor in het model. Een stambuis is een peilbuis waarin het verloop van de stijghoogte representatief mag worden geacht voor de ongestoorde situatie van het gebied. Het is dus een soort referentiebuis.

In bepaalde situaties blijkt de tweede manier een beter model op te leveren dan de eerste. Mogelijke verklaringen daarvoor zijn (naar [Baggelaar, 1988]):

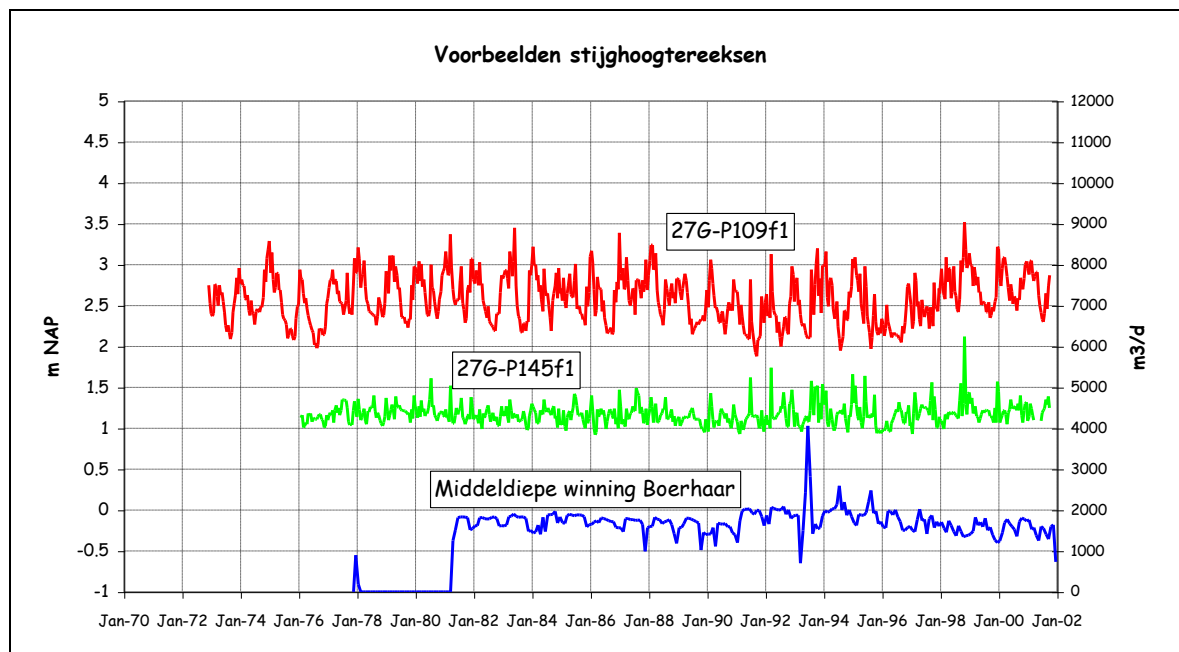
- de gecompliceerde – vaak zelfs niet-lineaire – relatie tussen het neerslagoverschot en de te modelleren stijghoogte wordt nu vervangen door de eenvoudige relatie tussen de stijghoogte in de stambuis en de te modelleren stijghoogte (vaak blijken hiervoor één à twee modelparameters al afdoende);
- er wordt nu in feite rekening gehouden met het (actueel) neerslagoverschot en niet met de theoretische benadering daarvan, het potentieel neerslagoverschot;
- eventuele regionale invloeden op het betreffende geohydrologische systeem worden nu ook beschreven. We kunnen hierbij denken aan bijzondere situaties, zoals “achtergrondverdroging”, of aan de bruinkoolwinning.

Gelet op de mogelijke voordelen van het gebruik van een stambuis zijn wij eerst nagegaan of er een geschikte stambuis beschikbaar is voor de tijdreeksanalyses van de stijghoogte. Daartoe is gezocht naar een stijghoogtereeks die voldoet aan de volgende drie criteria: (1) onbeïnvloed door zowel de middeldiepe winning Boerhaar als het wateraanvoerplan Midden-West (dit zijn immers de twee factoren waarvan de invloed op de stijghoogte in de omgeving moet worden vastgesteld), (2) onbeïnvloed door, of corrigeerbaar voor lokale invloeden en (3) met een zelfde soort regiem als de te modelleren stijghoogtereeks.

We kunnen er van uitgaan dat aan het eerste criterium wordt voldaan door de stijghoogte in peilbuis 27G-P109, filter 1. Deze peilbuis bevindt zich namelijk op circa 5 km ten zuid-zuidwesten van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar en tevens ruim buiten het uitvoeringsgebied van het wateraanvoerplan Midden-West (zie kaart 1). Het is echter onzeker of aan het tweede criterium wordt voldaan, omdat deze peilbuis zich op circa 1,5 km bevindt van enkele industriële grondwaterwinningen te Olst (zie § 2.4.2). Gezien deze onzekerheid is het veiliger deze peilbuis niet te hanteren als stambuis. Aan het derde criterium wordt door de genoemde stijghoogte overigens redelijk voldaan, doordat deze een relatief grote seizoensmatige amplitude vertoont, van 0,7 à 1 m (zie figuur 3.1), net als de meeste van de te modelleren stijghoogtereeksen (zie de grafieken in bijlage 1).

Enkele van de te modelleren stijghoogtereeksen vertonen een veel geringere seizoensmatige amplitude, van hooguit 0,3 à 0,4 m (zie bijvoorbeeld 27G-P145f1, eveneens in figuur 3.1), ongetwijfeld doordat deze sterk zijn gedempt door een naburige waterloop.

Figuur 3.1: Verloop van de stijghoogte in peilbuis 27G-P109, filter 1 en in peilbuis 27G-P145, filter 1, alsmede het verloop van de middeldiepe winning Boerhaar, in de periode 1970 t/m 2001.



Doordat er geen geschikte stambuis voorhanden bleek, hebben wij verdisconteerd voor de meteorologische omstandigheden door het potentieel neerslagoverschot op te nemen als invloedsfactor in de modellen, bij het modelleren van de stijghoogtereeksen.

3.1.3 Modelleren invloed middeldiepe winning Boerhaar

Om tot zo zuiver mogelijke schattingen te kunnen komen van de statistische relatie tussen een stijghoogte en de middeldiepe winning Boerhaar, dient het tijdreeksmodel voldoende rekening te houden met de responstijd. Maar het afleiden daarvan uit het betreffende kruiscorrelogram (zie bijlage 2) is doorgaans niet eenduidig, vanwege de ruis waarmee de kruiscorrelaties behept zijn. Daarom hebben wij langs de volgende twee wegen de responstijd geraamd:

- (1) met analytische hydrologische modellering, waarbij het tijdsverloop is berekend van de instationaire verlaging naar een put in een n-lagen systeem, volgens de methode van [Hemker and Maas, 1987];
- (2) met gevoeligheidsanalyse. Er zijn daartoe van een aantal stijghoogtereeksen tijdreeksmodellen met oplopende responstijden ontwikkeld, zodat kon worden vastgesteld op welke wijze de responstijd de geschatte relatie met de winning beïnvloedt.

Op basis van deze exercities kan worden aangenomen dat de responstijd circa één à drie maanden bedraagt. Wij zijn bij het modelleren daarom uitgegaan van een responstijd van twee maanden.

Seizoensmatige invloed van de middeldiepe winning Boerhaar?

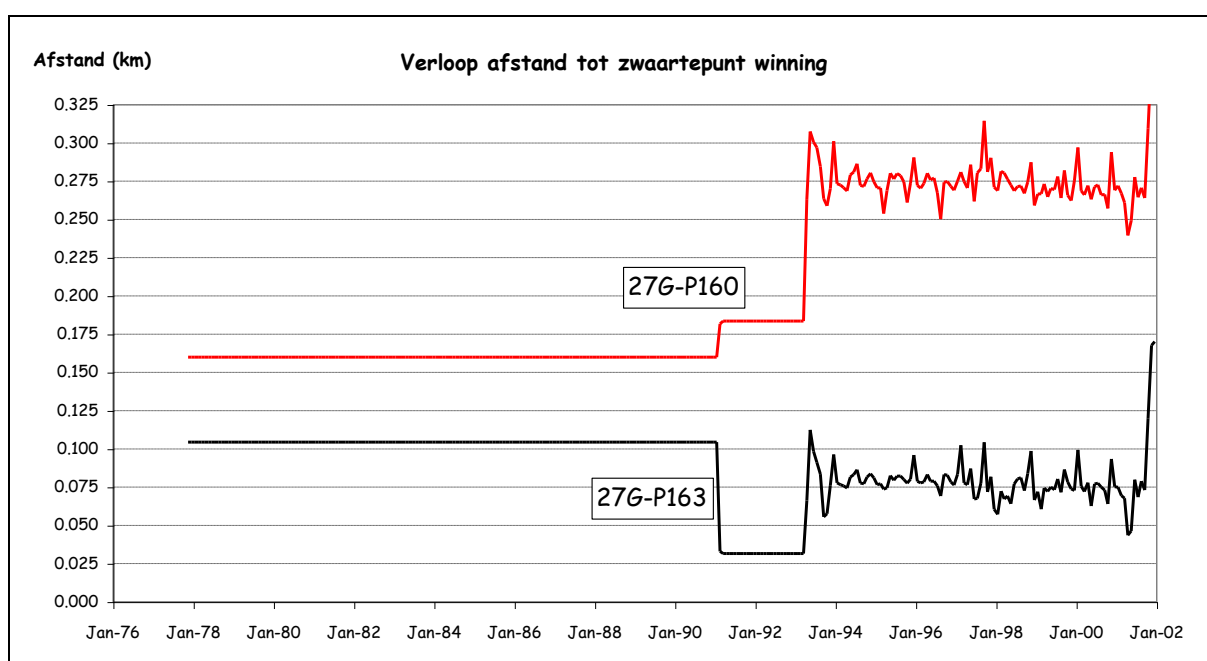
Als er grote verschillen optreden tussen de zomer- en wintersituatie van het afwateringsstelsel, kan de invloed van de middeldiepe winning Boerhaar op de stijghoogte ook afhangen van het seizoen. Om na te gaan of er sprake van is van een dergelijke niet-lineaire relatie, hebben wij voor een aantal willekeurig geselecteerde stijghoogtereeksen tijdreeksmodellen ontwikkeld waarbij de winning is opgesplitst tot twee afzonderlijke invloedsfactoren, namelijk de zomerwinning (deze is 's winters nul) en de winterwinning (deze is 's

zomers nul). De resultaten van deze exercitie gaven echter geen aanleiding te veronderstellen dat er een seizoensmatige invloed van de winning optrad, zodat wij daar bij het modelleren verder geen rekening mee hebben gehouden.

3.1.4 Modelleren invloed verplaatsing zwaartepunt middeldiepe winning Boerhaar

Vanaf de start van de winning tot april 1993 omvatte de middeldiepe winning slechts 1 pompput. Tot februari 1991 was dit pompput 1 en daarna pompput 3 (pompput 1 is toen verlaten). Vanaf april 1993 zijn er twee pompputten bijgekomen (pompputten 4 en 5) en vanaf mei 1993 nog één (pompput 6). Uit door WMO geleverde gegevens over weekdebieten en coördinaten van deze pompputten hebben we kunnen reconstrueren dat het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar sinds de start circa 230 m naar het noord-noordoosten is verplaatst. Ter illustratie is in figuur 3.2 het verloop van de afstand tot dit zwaartepunt weergegeven voor een tweetal peilbuizen.

Figuur 3.2: Het berekende verloop van de afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar voor twee peilbuizen.



Uit figuur 3.2 blijkt dat de veranderingen in de groep middeldiepe pompputten voor deze peilbuizen tot twee duidelijke stapsgewijze veranderingen in de afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning hebben geleid. Voor peilbuis 27G-P160, gelegen in het zuiden van de winplaats, hebben de veranderingen in twee stappen geleid tot een grotere afstand tot het zwaartepunt van de winning. Voor peilbuis 27G-P163, gelegen in het midden van de winplaats, resulteerde de vervanging van pompput 1 door pompput 3 (februari 1991) tot een verkleining van de afstand, doordat pompput 3 dichterbij ligt dan pompput 1. De uitbreiding met pompputten 4, 5 en 6 in april en mei 1993 resulteerde daarentegen weer in een geringe vergroting van de afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning. Voor beide peilbuizen fluctueert de afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning vanaf mei 1993, omdat er dan meerdere pompputten zijn en deze niet altijd in dezelfde verhouding grondwater onttrekken.

De zwaartepuntsverplaatsing zal vooral de stijghoogten vlakbij de winning (binnen een straal van enkele honderden meters) hebben beïnvloed, zodat het zaak is daar bij het modelleren van de stijghoogte rekening mee te houden. Daartoe hebben wij, uitgaande van het berekende verloop van het zwaartepunt, voor elke geselecteerde peilbuis het verloop van de afstand tot het zwaartepunt berekend. Op basis van enkele exercities is ons vervol-

gens gebleken, dat als voor een bepaalde peilbuis het verschil tussen de minimale en de maximale afstand tot het zwaartepunt meer dan 100% bedraagt van de minimale afstand, het nodig kan zijn de invloed van de zwaartepuntsverschuiving te verdisconteren bij de tijdreeksanalyse van de stijghoogte in die peilbuis.

De mate waarin de verplaatsing van het zwaartepunt van een winning de stijghoogte in een peilbuis beïnvloedt hangt af van: (1) de geohydrologische situatie en (2) de omvang van die winning. Voor een grondwaterwinning in een freatisch watervoerend pakket volgt de verandering van de verlaging van de grondwaterstand door de verplaatsing van een winning bij een bepaalde omvang van de winning uit de formule van Dupuit (zie bijvoorbeeld [Kruseman and De Ridder, 1970]):

$$Q = \frac{2\pi kD [(s_1 - \frac{s_1^2}{2D}) - (s_2 - \frac{s_2^2}{2D})]}{\ln[\frac{r_2}{r_1}]}$$

met Q de omvang van de grondwaterwinning (m^3/d), kD het doorlaatvermogen van het freatische watervoerende pakket (m^2/d), D de verzadigde dikte van dat pakket (m) en s_i de stationaire verlaging van de grondwaterstand (m) door die grondwaterwinning op afstand r_i (in m, $i=1$ of 2). Omdat doorgaans geldt dat $s_i^2 / 2D$ zeer gering is ten opzichte van s_i , mogen we bovenstaande formulering vereenvoudigen tot:

$$Q \approx \frac{2\pi kD [s_1 - s_2]}{\ln[\frac{r_2}{r_1}]}$$

En voor een grondwaterwinning in een afgesloten watervoerend pakket volgt de verandering van de verlaging van de stijghoogte door de verplaatsing van een winning bij een bepaalde omvang van de winning uit de formule van Thiem (zie bijvoorbeeld [Kruseman and De Ridder, 1970]):

$$Q = \frac{2\pi kD [s_1 - s_2]}{\ln[\frac{r_2}{r_1}]}$$

met s_i nu de stationaire verlaging van de *stijghoogte* (m) door die grondwaterwinning op afstand r_i (in m, $i=1$ of 2). De formulering voor een afgesloten watervoerend pakket is dus vergelijkbaar met die voor een freatisch watervoerend pakket dat dik genoeg is.

Uit bovenstaande formulering volgt het verschil tussen de stationaire verlagingen op de afstanden r_1 en r_2 van het zwaartepunt van een grondwaterwinning ter grootte van Q m^3/d :

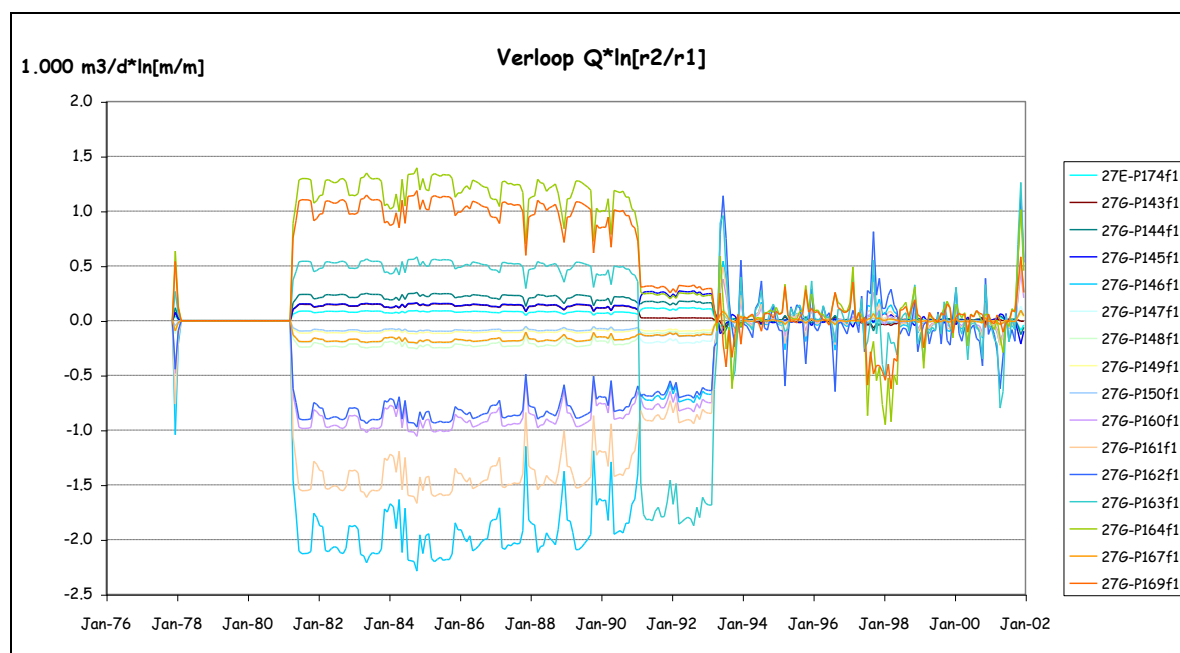
$$s_1 - s_2 \approx \frac{Q \cdot \ln[\frac{r_2}{r_1}]}{2\pi kD}$$

Daarom hebben wij ter verdiscontering van de zwaartepuntsverschuiving bij de tijdreeksanalyse de variabele $Q \cdot \ln[r_2/r_1]$ als invloedsfactor van de stijghoogte gehanteerd, waarbij voor r_1 de gemiddelde afstand voor een recente situatie, met pompputten 3, 4, 5 en 6, is genomen. Dit gemiddelde is berekend over de periode januari 1994 t/m december 2000². De variabele $Q \cdot \ln[r_2/r_1]$ stelt dus in staat het effect van de zwaartepuntsverplaatsing van de winning op de stijghoogte te beschrijven. Zijn verloop is uiteraard verschillend voor de verschillende peilbuizen (zie figuur 3.3). Zo heeft deze variabele positieve waarden voor

² Door deze formulering is de met tijdreeksanalyse geschatte invloed van de winning Boerhaar op de stijghoogte representatief voor de gemiddelde ligging van het zwaartepunt in deze recente periode.

peilbuizen die aanvankelijk verder van de winning lagen en negatieve waarden voor peilbuizen die aanvankelijk dichterbij de winning lagen.

Figuur 3.3: Verloop van de variabele ter verdiscontering van de zwaartepuntsverplaatsing van de middeldiepe winning Boerhaar voor enkele peilbuizen.

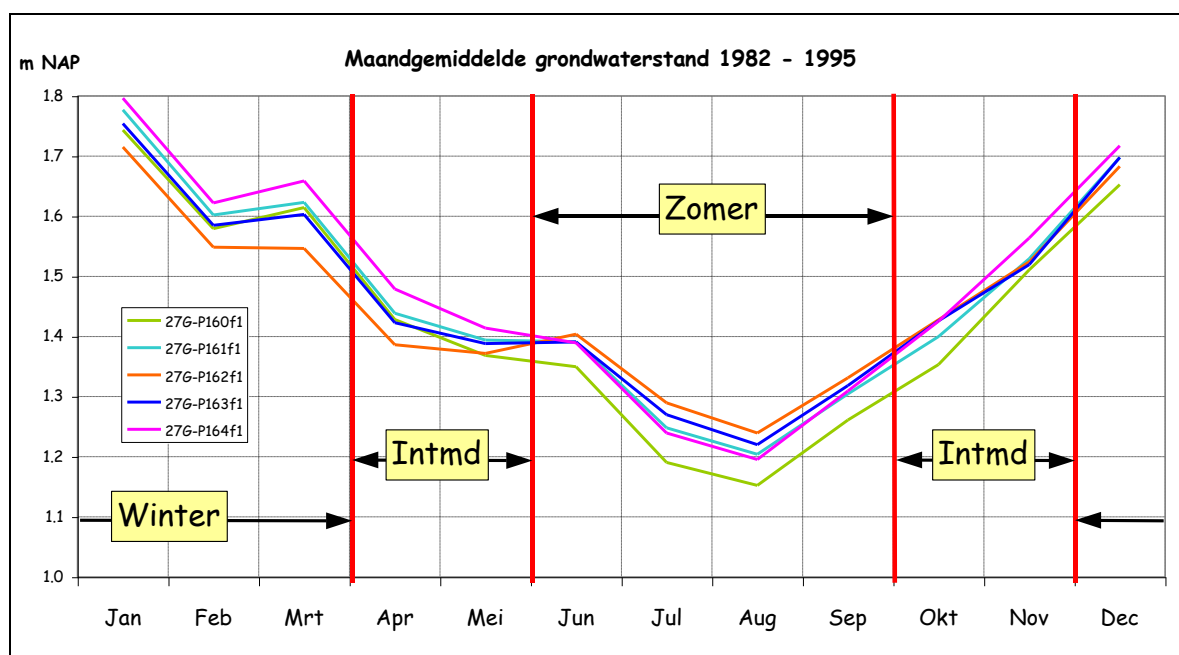


3.1.5 Modelleren invloed wateraanvoerplan Midden-West

In het gebied van het wateraanvoerplan Midden-West is het totale natte oppervlak vergroot en zijn de zomerpeilen op een hoger niveau gebracht, zodat het oppervlaktewater meer invloed zal hebben gekregen op het grondwater en de stijghoogten zullen zijn gestegen. Volgens opgave van het waterschap is de wateraanvoer van start gegaan in april 1996. Op theoretische gronden kan worden aangenomen dat de invloed van het wateraanvoerplan op de stijghoogte ondermeer zal afhangen van de diepte van de stijghoogte onder maaiveld. Naarmate de stijghoogte dieper ligt kan er namelijk meer oppervlaktewater infiltreren en kan de stijghoogte dus meer beïnvloed worden. Daardoor zal de invloed van het wateraanvoerplan op een bepaalde stijghoogte dus niet alleen afhangen van de mate waarin die stijghoogte is verlaagd door de middeldiepe winning Boerhaar en van de locatie in het systeem, maar ook van het seizoen. Om bij de tijdreeksanalyse van een stijghoogte voldoende rekening te kunnen houden met die niet-lineaire invloed, zijn wij nagegaan welke seizoensindeling hierbij past. Daartoe hebben wij van een vijftal stijghoogtereeksen van het ondiepe watervoerende pakket, gemeten in peilbuizen in het waterwingebied, de gemiddelde seizoensmatige fluctuatie uitgezet over de periode 1982 t/m 1995 (zie figuur 3.4). De middeldiepe winning Boerhaar is over deze periode redelijk constant gebleven. Op basis van de geconstateerde fluctuaties hebben wij besloten om bij de tijdreeksanalyse van de stijghoogten rekening te houden met drie verschillende invloeden van het wateraanvoerplan Midden-West, namelijk een zomer-, een winter- en een intermediaire invloed. Om deze invloeden te kunnen schatten is het wateraanvoerplan bij de tijdreeksanalyse vertegenwoordigd door de volgende drie invoerreeksen:

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

Figuur 3.4: De maandgemiddelde stijghoogte over de periode 1982 – 1995, voor elk van een vijftal stijghoogtereeksen uit het ondiepe watervoerende pakket



3.1.6 Modelleren invloed oppervlaktewaterstand IJssel

Zoals aangegeven in § 2.5.2, vormt ook de waterstand van de IJssel een mogelijke invloedsfactor van de stijghoogte in het onderzoeksgebied, zodat deze bij het modelleren van de stijghoogte dient te worden verdisconteerd. De waterstand van de IJssel en het potentieel neerslagoverschot bleken echter onderling sterk gecorreleerd te zijn, zodat het opnemen van beide als invloedsfactor de modelresultaten ongunstig kan beïnvloeden (bij het modelleren lukt het dan namelijk niet meer onderscheid te maken tussen deze twee invloedsfactoren). Vandaar dat wij de waterstand in de IJssel eerst hebben gecorrigeerd voor de statistische relatie met het potentieel neerslagoverschot, alvorens die in het model voor de stijghoogte op te nemen als mogelijke invloedsfactor. Voor de correctie is eerst het transfer-ruismodel geschat voor de statistische relatie tussen beide variabelen. Dit model had de volgende vorm:

$$\text{Ln}[IJssel_t] = \frac{\omega_0 - \omega_1 B}{1 - \delta_1 B} \cdot PNO_t + N_t$$

met $IJssel_t$ de waterstand van de IJssel te Olst (m NAP), PNO_t het potentieel neerslagoverschot (mm/d) en N_t de resterende ruis ($\text{Ln}[\text{m NAP}]$), alle in maand t (voor de betekenis van de overige symbolen verwijzen wij naar bijlage 2). De ruisreeks (N_t), is dan op te vatten als de waterstand van de IJssel, gecorrigeerd voor de statistische relatie met het potentieel neerslagoverschot. Deze is verder bij de tijdreeksanalyse gehanteerd als mogelijke invloedsfactor van de stijghoogte.

3.1.7 Modelleren invloed bronbemalingen op winplaats

Zoals aangegeven in § 2.4.1 is de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket plotse-ling sterk verlaagd in de zomer van 1980 en rond februari 1992, in beide gevallen vermoedelijk door bronbemaling. Ter verdiscontering van deze gebeurtenissen zijn bij de tijdreeksanalyse van de betreffende stijghoogtereeksen de volgende twee invoerreeksen toegevoegd:

- 1) een schematisatie van de eerste bronbemaling, met de waarde 0,5 in juni 1980, de waarde 1 in juli t/m september 1980, de waarde 0,5 in oktober 1980 en de waarde 0 in het overige deel van de modelperiode;

- 2) een schematisatie van de tweede bronbemaling, met de waarde 0,5 in januari 1992, de waarde 1 in februari 1992, de waarde 0,5 in maart 1992 en de waarde 0 in het overige deel van de modelperiode.

3.2 Selecteren en voorbereken van de stijghoogtereeksen

Om voor een tijdreeksanalyse als boven omschreven in aanmerking te kunnen komen, dient een stijghoogtereeks aan de volgende criteria te voldoen:

- (1) het waarnemingsfilter bevindt zich in het onderzoeksgebied, zoals gedefinieerd door de begeleidingsgroep in de onderzoeksaanvraag;
- (2) er zijn meetwaarden beschikbaar over minstens 5 jaar (uit ervaring is gebleken dat het modelleren van kortere perioden tot zeer onzuivere resultaten kan leiden);
- (3) over de periode die de stijghoogtereeks beslaat dient tenminste één van de factoren waarvan de invloed moet worden geschat voldoende veranderd te zijn;
- (4) de meetfrequentie is halfmaandelijks (twee meetwaarden per maand);
- (5) het aantal ontbrekende meetwaarden bedraagt niet meer dan 10% van het totale aantal;
- (6) er zijn geen hiaten in de stijghoogtereeks van langer dan zes maanden.

Het onderzoeksgebied is in de onderzoeksaanvraag als een rechthoek gedefinieerd, met de volgende hoekpunten³:

- linksonder (nabij Boskamp): $X = 205,000$, $Y = 482,000$;
- linksboven (nabij boerderij De Paddenpol) : $X = 205,000$, $Y = 492,000$;
- rechtsboven (nabij landhuis De Velner): $X = 213,000$, $Y = 492,000$;
- rechtsonder (nabij Wesepe): $X = 213,000$, $Y = 482,000$.

Het gebied ten westen van de IJssel is hiervan echter uitgesloten. Binnen deze rechthoek bevindt zich een 60-tal peilbuizen, waarvan meerdere met verschillende filters, zodat van alle watervoerende pakketten stijghoogtereeksen beschikbaar zijn. Van vrijwel al deze peilbuisfilters is de stijghoogte tweemaal per maand gemeten over een periode van minstens tien jaar en in veel gevallen zelfs meer dan twintig jaar. Het percentage ontbrekende waarnemingen per reeks is daarbij overwegend gering (< 5%).

De derde van de bovengenoemde eisen heeft als achtergrond dat de invloed op de stijghoogte van de winning of het wateraanvoerplan niet verantwoord kan worden geschat als die factor over de periode die de stijghoogtereeks beslaat niet voldoende veranderd is. Er is dan namelijk onvoldoende onderscheidend vermogen beschikbaar. De grote veranderingen die zijn opgetreden in deze factoren waren:

- ❑ voorjaar 1981: de start van de middeldiepe winning;
- ❑ voorjaar 1996: de start van het wateraanvoerplan Midden-West.

Om de invloed van de middeldiepe winning op de stijghoogte te kunnen schatten dient de betreffende stijghoogtereeks dus minstens de periode 1979 t/m 1984 te omvatten en om de invloed van het wateraanvoerplan te kunnen schatten dient deze reeks minstens de periode 1994 t/m 1999 te omvatten.

Op basis van de bovengenoemde criteria en een beoordeling van de ligging van de peilbuis zijn - mede in overleg met de begeleidingsgroep - uit de circa 110 beschikbare stijghoogtereeksen er 48 geselecteerd voor dit onderzoek. Hiervan hebben er 25 betrekking op het ondiepe en 23 op het middeldiepe watervoerende pakket. De betreffende peilbuizen (dit zijn er 25) bevinden zich tussen 80 m en 5 km van het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning. Bij de tabelmatige presentatie van de resultaten (hoofdstuk 4) zijn

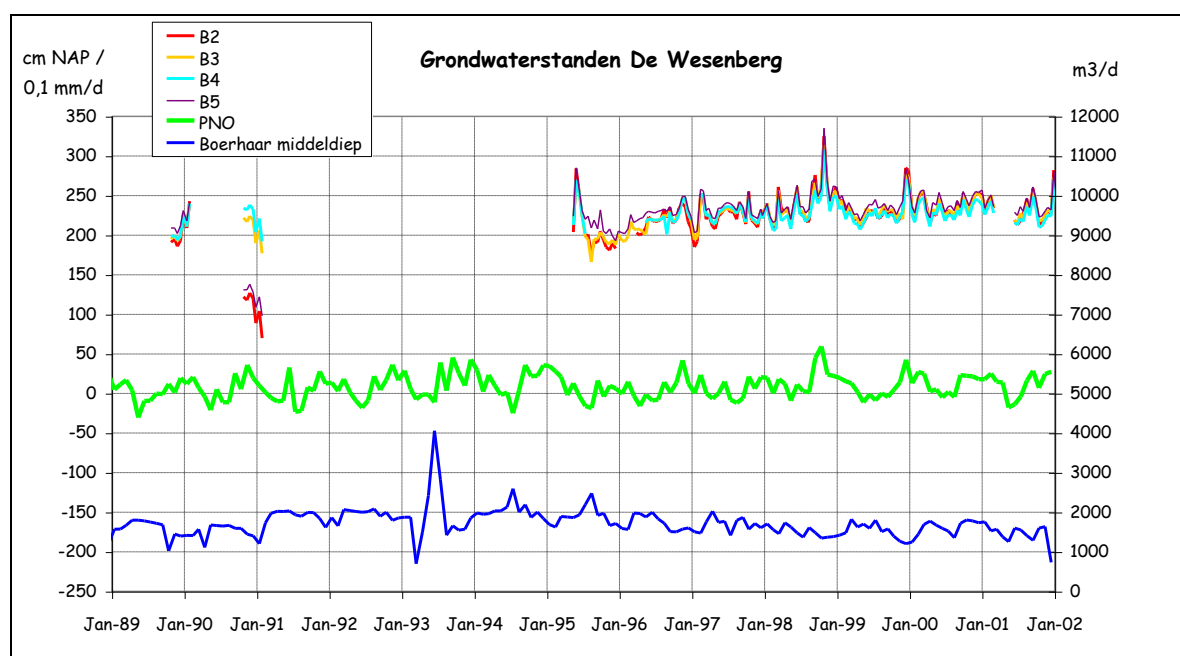
³ De X- en Y-coördinaten zijn in km ten opzichte van het "nulpunt" te Auxerre (Noord-Frankrijk), zoals gehanteerd in de topografische kaart van Nederland.

zoveel mogelijk de relevante kenmerken van elke gemodelleerde stijghoogtereeks vermeld, zoals coördinaten, maaiveldshoogte, filterdiepte, watervoerend pakket, aanwezigheid van de Eemlaag en afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar. En bijlage 1 presenteert de grafieken van deze stijghoogtereeksen.

Geschiktheid van de particuliere stijghoogtereeksen

Er zijn voor dit onderzoek ook enkele stijghoogtereeksen beschikbaar gesteld, die zijn gemeten door de heer H.B. Hunneman, een particulier. De betreffende peilbuizen bevinden zich op de locatie de Wesenberg, circa 1,5 km ten westen van het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar. De filters bevinden zich in het ondiepe watervoerende pakket. De vier peilbuizen vormen min of meer een raai van circa 700 m, met B2 in het west-noordwesten en B5 in het oost-zuidoosten. Hun stijghoogtereeksen zijn weergegeven in figuur 3.5, tezamen met het verloop van het potentieel neerslagoverschot en het verloop van de middeldiepe winning Boerhaar.

Figuur 3.5: Verloop van de stijghoogten in een viertal peilbuizen op de locatie de Wesenberg (halfmaandelijke meetwaarden), in de periode 1989 t/m 2001. Tevens is weergegeven het verloop van het potentieel neerslagoverschot en het verloop van de middeldiepe winning Boerhaar (beide op maandbasis).



De reeksen starten in oktober 1989 en in principe bevatten ze twee meetwaarden per maand (op of rond de 14^e en de 28^e). Er zijn echter geen meetwaarden beschikbaar over de perioden februari tot oktober 1990, februari 1991 tot mei 1995 en maart tot juni 2001 (dit laatste vanwege de uitbraak van mond- en klauwzeer). De min of meer ononderbroken delen van deze reeksen starten dus pas medio 1995, zodat ze niet geschikt zijn om de invloed van de middeldiepe winning op de betreffende stijghoogten te schatten en ook onvoldoende geschikt zijn om de invloed van het wateraanvoerplan Midden-West te schatten (zie de criteria vermeld in het eerste deel van deze paragraaf). Maar doordat de middeldiepe winning sinds medio december 2001 is stilgelegd, zal het vanaf ongeveer het jaar 2004 mogelijk zijn vast te stellen of er een verschil is tussen de situatie met de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan (1996 – 2001) en de situatie met alleen het wateraanvoerplan (vanaf 2002). De reeksen beslaan dan namelijk enkele jaren vóór en ná deze grote verandering in de omstandigheden. Het is echter niet meer mogelijk de afzonderlijke invloed van de winning te schatten.

Uit een visuele verkenning van figuur 3.5 kan alleen worden opgemaakt dat de betreffende stijghoogten sterk onder invloed staan van de meteorologische omstandigheden. Een invloed van de middeldiepe Boerhaar valt zo op het oog niet waar te nemen, maar de winning is in deze meetperiode ook nauwelijks gewijzigd. De seizoensmatige fluctuaties in deze stijghoogtereeksen zijn relatief gering, wat duidt op demping door het oppervlaktewater. Het verloop van deze stijghoogtereeksen is ook niet afwijkend van dat van andere in het onderzoeksgebied. Zo komt de sterke piek in het najaar van 1998 vrijwel bij alle reeksen voor (zie bijlage 1).

Voorbewerken van de basisgegevens

De stijghoogten zijn in principe alle tweemaal per maand gemeten, op of nabij de 14^e en de 28^e. Alvorens met de statistische analyse te beginnen, zijn alle betrokken stijghoogtereeksen onderzocht op het voorkomen van “uitbijters” en “gaten”. Als uitbijters zijn die meetresultaten aangemerkt die niet in het normale beeld passen. Met name de zogenaamde “meterfouten” zijn doorgaans eenvoudig herkenbaar en daardoor goed corrigeerbaar. De gaten zijn aaneengesloten perioden waarin, om welke reden dan ook, geen metingen zijn verricht. Voor het vaststellen van uitbijters en gaten zijn grafieken van de stijghoogtereeksen visueel beoordeeld, gebruik makende van hydrologische kennis en ervaring met betrekking tot stijghoogtereeksen. De aldus gevonden uitbijters en gaten zijn - indien dit vanuit hydrologisch en statistisch oogpunt verantwoord kon worden geacht - gecorrigeerd dan wel opgevuld door te interpoleren. Hierbij is zonodig ook afgegaan op de correlaties tussen stijghoogtereeksen van naastliggende putten.

In een enkel geval – peilbuis 27G-P161 – was er duidelijk sprake van een verwisseling van de filternummers 1 en 2 over een deel van de meetperiode. Dit is handmatig gecorrigeerd. In een ander geval – peilbuis 27G-P148, filter 2 - bestond er gereede twijfel over de zeggingskracht van de meetwaarden. Deze stijghoogtereeks week over het eerste deel van de meetperiode (1976 – 1987) namelijk sterk af van die van het daarboven gelegen filter 1, terwijl beide reeksen over het tweede deel vrijwel identiek waren. Omdat hiervoor vooralsnog geen andere verklaring mogelijk lijkt dan een slecht functioneren van het filter, is deze reeks verder buiten beschouwing gelaten.

Om van halfmaandelijks meetwaarden tot een stijghoogtereeks op maandbasis te komen, zijn de meetwaarden rechttoe- rechtaan gemiddeld, als volgt:

$$\bar{Y}_{m,t} = \frac{(Y_{t,14} + Y_{t,28})}{2}$$

met $\bar{Y}_{m,t}$ de berekende gemiddelde stijghoogte in maand t en $Y_{t,14}$ respectievelijk $Y_{t,28}$ de gemeten stijghoogte op of rond de 14^e, respectievelijk de 28^e van de betreffende maand t .

4 Resultaten van de tijdreeksanalyse

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de tijdreeksanalyse, zowel tabelmatig als grafisch, met onderscheid naar de geschatte invloeden van respectievelijk de middeldiepe winning Boerhaar (§ 4.1), het wateraanvoerplan Midden-West (§ 4.2), de combinatie van beide (§ 4.3) en de verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar (§ 4.4). De details van de ontwikkelde tijdreeksmodellen zijn vermeld in bijlage 3.

4.1 Geschatte invloed middeldiepe winning Boerhaar

De tijdreeksanalyse leverde voor elke gemodelleerde stijghoogtereeks een schatting van de statistische relatie van die stijghoogte met de middeldiepe winning Boerhaar, uitgedrukt als stationaire verandering van de stijghoogte per winningseenheid ($\text{m} / 1.000 \text{ m}^3/\text{d}$). Deze stationaire veranderingen zijn vervolgens omgerekend naar een winning van 0,6 miljoen m^3/jaar . Die lineaire extrapolatie kan hier verantwoord worden geacht, omdat de variatie van de winning over de beschouwde modelperioden gemiddeld ook circa 0,6 miljoen m^3/jaar bedraagt. De resultaten zijn in tabel 4.1 weergegeven voor een winning van 0,6 miljoen m^3 per jaar, waarbij ze zijn gerangschikt naar de afstand tot het gemiddelde zwaartepunt van de middeldiepe winning in de periode januari 1994 t/m december 2000. De resultaten zijn tevens vermeld op kaart 2.

In 7 gevallen is de geschatte statistische relatie positief (de stijghoogte stijgt als de middelwinning Boerhaar toeneemt), maar het betreft dan geen statistisch significante relatie. Voor 8 stijghoogtereeksen, gemeten in peilbuizen op de winplaats tot maximaal 210 m van het zwaartepunt, is tevens een relatie aangetoond met de verplaatsing van dit zwaartepunt en geldt de hier vermelde schatting dus alleen de periode januari 1994 t/m december 2000 (zie § 4.4). Van de stijghoogtereeks 27G-P224f1 is het resultaat niet vermeld, omdat deze reeks pas is gestart in juni 1988 en daardoor ongeschikt is om de invloed van de middeldiepe winning te schatten (zie de eisen in § 3.2).

In figuur 4.1 is de geschatte verandering van de stijghoogte door de middeldiepe winning Boerhaar uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van die winning, met onderscheid naar het watervoerende pakket. En figuur 4.2 toont per watervoerend pakket tevens de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de geschatte veranderingen.

Toelichting op standaardfout en 95%-betrouwbaarheidsinterval van een schatting

In de resultaat-tabellen is van elke schatting tevens de standaardfout vermeld. Deze is op te vatten als een maat voor de precisie van de geschatte relatie. Als de absolute waarde van de schatting groter is dan tweemaal zijn standaardfout, dan mogen we met 95% betrouwbaarheid stellen dat de geschatte relatie schatting afwijkt van nul en dus statistisch significant is.

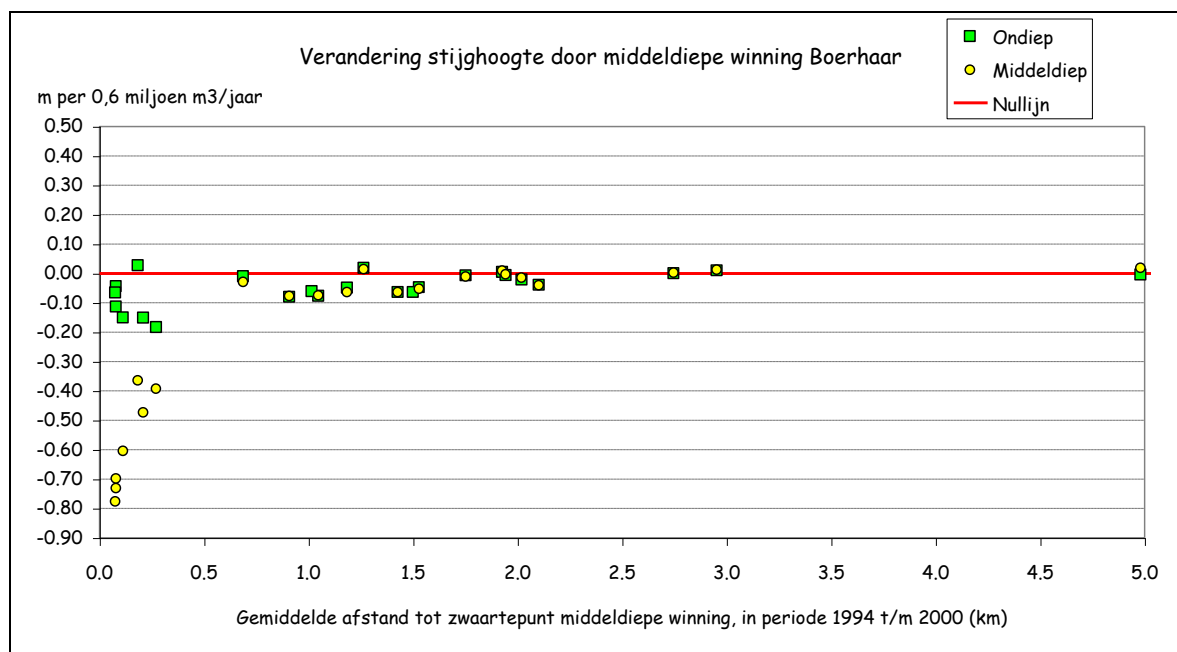
In enkele van de resultaat-grafieken is bij elke schatting tevens het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven. De bovengrens van dit interval is de schatting + 2 maal de standaardfout en de ondergrens is de schatting - 2 maal de standaardfout. De geschatte relatie is met 95% betrouwbaarheid statistisch significant als dit interval níet de waarde nul bevat.

We moeten ons realiseren dat elk betrouwbaarheidsinterval slechts van toepassing is om de statistische significantie van de betreffende *individuele* schatting te beoordelen. Als we over meerdere schattingen beschikken geeft het ruimtelijke patroon daarin ons namelijk veel meer informatie over een eventuele invloed van de winning op de stijghoogte en verliezen de betrouwbaarheidsintervallen betekenis (als er geen invloed is mogen we bijvoorbeeld verwachten dat de geschatte relaties aselekt rond de waarde nul liggen, dus zonder enig logisch ruimtelijk patroon).

Tabel 4.1: Geschatte verandering van de stijghoogte (en bijbehorende standaardfout) bij een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³ per jaar. De resultaten zijn per watervoerend pakket gerangschikt naar de afstand tot het recente zwaartepunt van deze winning.

Peilbuis	Filt	X-coor	Y-coor	Mv	Bkf	Okf	Wvp	Eemlaag	Afstand	Verand	St fout
		m	m	m NAP	m NAP	m NAP		?	km	m / 0,6 miljoen m ³	
27G-P163	1	208060	486540	2.50	-2.5	-3.5	ondiep	ja	0.08	-0.07	0.03
27G-P164	1	208110	486580	2.50	-3.5	-4.5	ondiep	ja	0.08	-0.12	0.03
27G-P162	1	208000	486540	2.60	-3.4	-4.4	ondiep	ja	0.08	-0.05	0.05
27G-P169	1	208150	486600	2.50	-2.5	-4.5	ondiep	ja	0.12	-0.15	0.04
27G-P146	1	207930	486460	2.70	-3.8	-4.8	ondiep	ja	0.19	0.03	0.03
27G-P161	1	207950	486420	2.60	-2.4	-3.4	ondiep	ja	0.21	-0.15	0.03
27G-P160	1	207960	486350	2.50	-3.5	-4.5	ondiep	ja	0.27	-0.18	0.05
27G-P145	1	207690	487210	2.73	-1.3	-2.3	ondiep	ja	0.69	-0.01	0.02
27G-P144	1	208510	487390	2.50	-1.5	-2.5	ondiep	ja	0.91	-0.08	0.02
27G-P148	1	207300	485910	2.60	-3.4	-4.4	ondiep	ja	1.02	-0.06	0.02
27G-P147	1	207920	485570	3.10	-0.9	-1.9	ondiep	nee	1.05	-0.08	0.03
27G-P143	1	209190	486890	2.84	-3.2	-4.2	ondiep	ja	1.19	-0.05	0.02
27G-P167	1	207450	485490	2.80	-2.2	-3.2	ondiep	ja	1.27	0.02	0.02
27G-P152	1	209160	485730	3.40	-0.6	-1.6	ondiep	ja	1.43	-0.07	0.03
27G-P153	1	206550	486830	3.00	-2	-3	ondiep	nee	1.50	-0.07	0.02
27G-P150	1	208420	485130	3.00	-1	-2	ondiep	ja	1.53	-0.05	0.04
27E-P174	1	207630	488320	2.44	-2.1	-3.1	ondiep	ja	1.75	-0.01	0.02
27E-P175	1	209240	488120	2.80	-1.7	-2.7	ondiep	nee	1.93	0.00	0.02
27G-P165	1	209980	486520	3.28	-1.72	-2.72	ondiep	ja	1.95	-0.01	0.02
27G-P149	1	207380	484700	3.20	-0.8	-1.8	ondiep	ja	2.02	-0.02	0.03
27G-P151	1	209170	484840	4.00	0	-1	ondiep	ja	2.10	-0.04	0.04
27G-P224	1	210080	485600	3.10	-2.9	-4.9	ondiep	nee	2.28	te kort	
27H-P78	1	210750	487050	3.40	-0.6	-1.6	ondiep	nee	2.75	0.00	0.01
27H-P77	1	210740	485420	3.90	-0.1	-1.1	ondiep	nee	2.96	0.01	0.02
27G-P109	1	205610	482260	3.83	-1.4	-2.4	ondiep	ja	4.98	-0.01	0.04
27G-P163	2	208060	486540	2.50	-16.5	-17.5	mid	ja	0.08	-0.78	0.04
27G-P164	2	208110	486580	2.50	-14.5	-15.5	mid	ja	0.08	-0.70	0.04
27G-P162	2	208000	486540	2.60	-15.4	-16.4	mid	ja	0.08	-0.73	0.04
27G-P169	2	208150	486600	2.50	-19.5	-21.5	mid	ja	0.12	-0.61	0.05
27G-P146	2	207930	486460	2.70	-19.3	-21.3	mid	ja	0.19	-0.37	0.03
27G-P161	2	207950	486420	2.60	-15.4	-16.4	mid	ja	0.21	-0.48	0.04
27G-P160	2	207960	486350	2.50	-15.5	-16.5	mid	ja	0.27	-0.39	0.04
27G-P145	2	207690	487210	2.73	-19.8	-21.8	mid	ja	0.69	-0.03	0.02
27G-P144	2	208510	487390	2.50	-19.5	-20.5	mid	ja	0.91	-0.08	0.02
27G-P147	2	207920	485570	3.10	-14.4	-16.4	mid	nee	1.05	-0.08	0.03
27G-P143	2	209190	486890	2.84	-19.2	-21.2	mid	ja	1.19	-0.07	0.01
27G-P167	2	207450	485490	2.80	-30.2	-32.2	mid	ja	1.27	0.01	0.02
27G-P152	2	209160	485730	3.40	-19.6	-21.6	mid	ja	1.43	-0.07	0.03
27G-P150	2	208420	485130	3.00	-18	-20	mid	ja	1.53	-0.05	0.03
27E-P174	2	207630	488320	2.44	-20.1	-22.1	mid	ja	1.75	-0.01	0.02
27E-P175	2	209240	488120	2.80	-12.7	-14.7	mid	nee	1.93	0.01	0.01
27G-P165	2	209980	486520	3.28	-18.72	-20.72	mid	ja	1.95	-0.01	0.02
27G-P149	2	207380	484700	3.20	-18.8	-20.8	mid	ja	2.02	-0.02	0.02
27G-P151	2	209170	484840	4.00	-19	-21	mid	ja	2.10	-0.04	0.03
27H-P78	2	210750	487050	3.40	-14.6	-16.6	mid	nee	2.75	0.00	0.01
27H-P77	2	210740	485420	3.90	-12.1	-14.1	mid	nee	2.96	0.01	0.02
27G-P109	3	205610	482260	3.83	-30.4	-32.4	mid	ja	4.98	0.02	0.03

Figuur 4.1: De geschatte verandering van de stijghoogte bij een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³ per jaar, uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van die winning en met onderscheid naar het watervoerende pakket.



Uit tabel 4.1 en figuur 4.2 blijkt dat 22 van de 46 geschatte verlagingen van de stijghoogte statistisch significant zijn, waarbij de grootste verlagingen – circa 0,8 m – optreden op de winplaats, in het middeldiepe watervoerende pakket. In dat pakket komt de invloed van de middeldiepe winning Boerhaar dan ook het duidelijkst als een verlagingskegel naar voren. In het ondiepe watervoerende pakket valt ook een verlagingskegel te onderkennen, maar die is minder uitgesproken en hier en daar onderbroken.

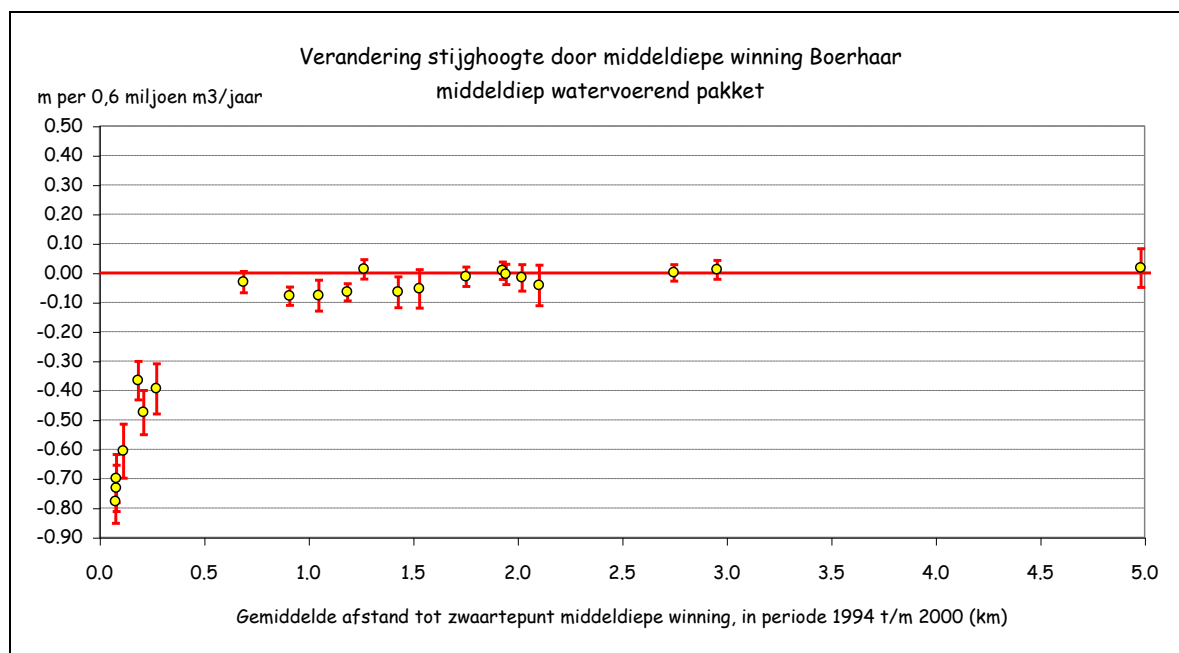
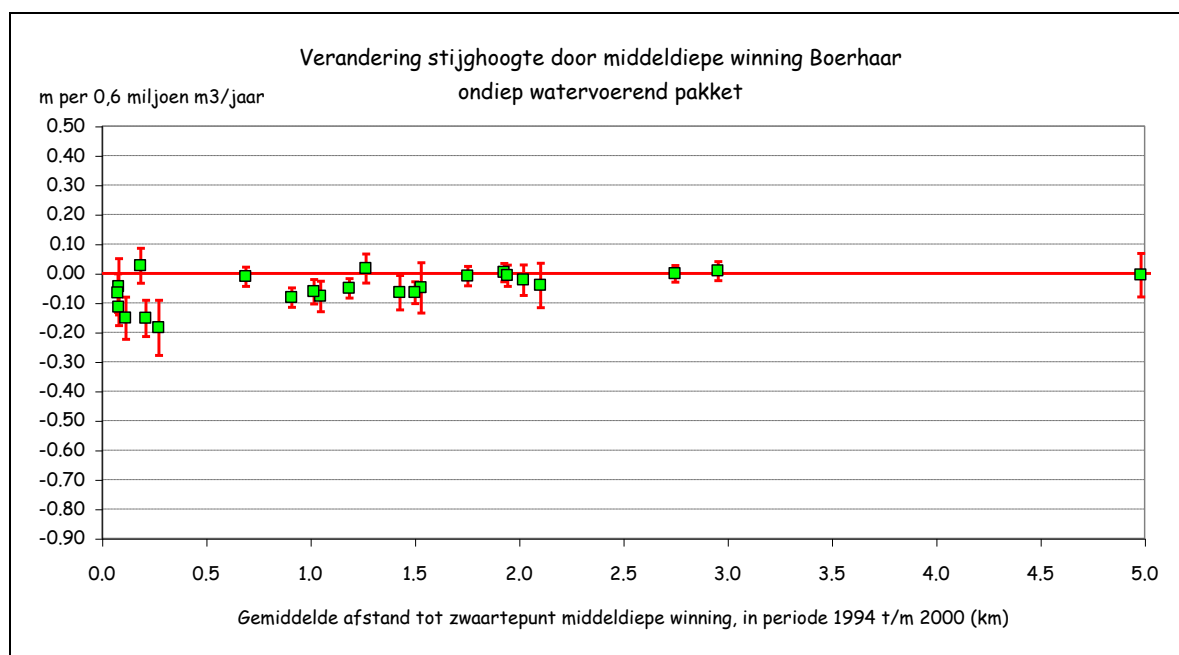
In het ondiepe watervoerende pakket zijn er 11 statistisch significante verlagingen geschat, alle voor peilbuizen binnen 1,5 km van het recente zwaartepunt van de winning. De overige geschatte verlagingen in dit pakket zijn weliswaar individueel beschouwd niet statistisch significant, maar als we het ruimtelijke beeld van figuur 4.2 beschouwen, is het denkbaar dat de invloedsstraal (invloed > 1 cm) van deze winning zich in dit pakket tot circa 1,8 à 2 km van het recente zwaartepunt van de winning uitstrekt. In een drietal gevallen, 27G-P146f1, -P162f1 en -P163f1, is vrijwel op de winplaats een verandering geschat die niet past in het ruimtelijke beeld en die leidt tot een onderbreking van de verlagingskegel. Uit navraag bij Vitens kwam naar voren dat het niet aannemelijk is dat dit is veroorzaakt door extra infiltratie vanuit het oppervlaktewater. Er ligt wel een slibvijver nabij 27G-P146 en -P162, maar die heeft een versmeerde en daarmee ondoorlatende bodem. Een plausiblere verklaring voor de geconstateerde discrepanties is dat het onzuivere schattingen betreft, door een minder geslaagde verdiscontering van de invloed van de zwaartepuntsverplaatsingen. Deze drie stijghoogtereeksen eindigen namelijk reeds in het voorjaar van 1996, terwijl er medio 1993 een grote verplaatsing is opgetreden van het zwaartepunt van de middeldiepe winning. Daar komt nog bij dat de gegevens over de verplaatsing van dat zwaartepunt niet alle even betrouwbaar zijn (zie § 2.4.1). Voor de middeldiepe stijghoogten in deze drie peilbuizen lijken er geen grote discrepanties – wellicht met een kleine uitzondering voor 27G-P146f2 -, vermoedelijk omdat de invloed van de zwaartepuntsverplaatsing op deze stijghoogten zó groot en duidelijk is, dat deze beter te schatten is.

De verlagingskegel in het ondiepe watervoerende pakket wordt ook duidelijk onderbroken ter plaatse van peilbuis 27G-P145, gelegen op 0,69 km ten noordwesten van het recente zwaartepunt en ter plaatse van peilbuis 27G-P167, gelegen op 1,27 km ten zuidwesten

van het recente zwaartepunt. Peilbuis 27G-P145 bevindt zich op slechts 10 m van een watergang van het wateraanvoerplan en gezien de geringe seizoensmatige fluctuatie in de stijghoogtereeksen van zijn twee filters (zie bijlage 1) kan worden aangenomen dat deze sterk worden beïnvloed door het oppervlaktewater en dat er daardoor geen verlaging optreedt. Voor de discrepantie van 27G-P167f1 is vooralsnog geen verklaring.

Uit tabel 4.1 kan niet worden afgeleid dat er een duidelijke invloed is van het al of niet voorkomen van de Eemlaag op de geschatte verlagingen.

Figuur 4.2: Voor beide watervoerende pakketten afzonderlijk de geschatte verandering van de stijghoogte bij een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³ per jaar, uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van die winning. Tevens is het 95%-betrouwbaarheidsinterval van elke schatting weergegeven.



4.2 Geschatte invloed wateraanvoerplan Midden-West

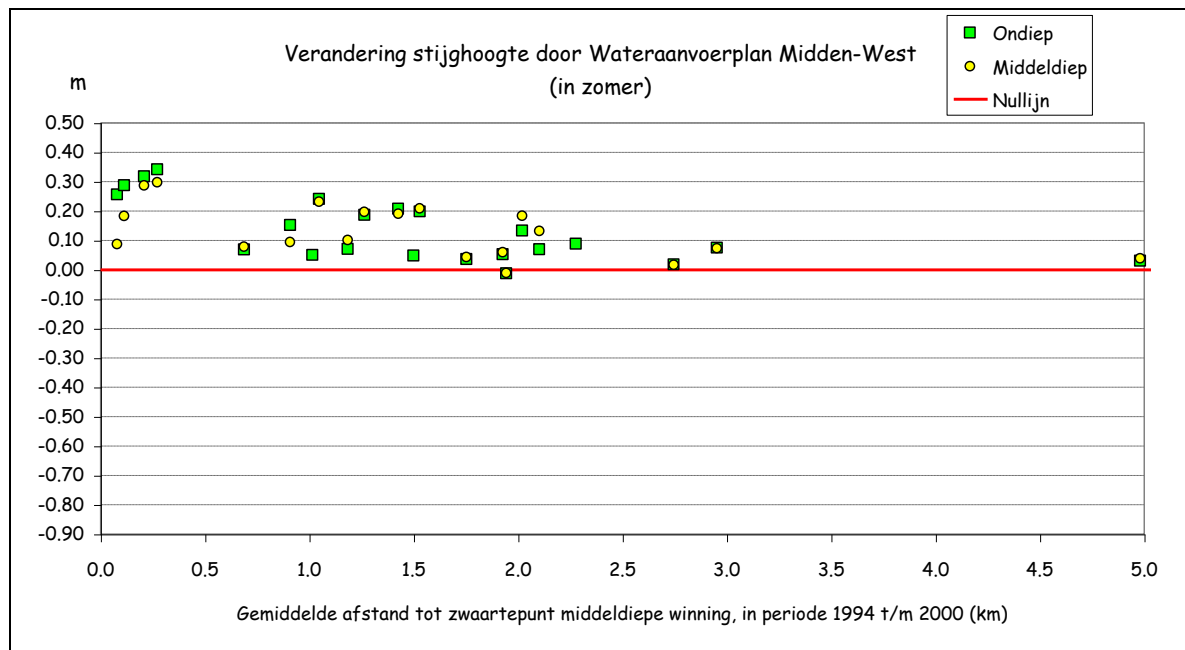
Bij de tijdreeksanalyse is per stijghoogtereeks ook de statistische relatie geschat tussen de stijghoogte en het wateraanvoerplan Midden-West, met onderscheid naar de zomer-, winter- en intermediaire situatie (zie § 3.1.5). In tabel 4.2 zijn deze schattingen vermeld, gerangschikt naar de afstand tot het gemiddelde zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar in de periode januari 1994 t/m december 2000.

Van de stijghoogtereeksen 27G-P146f1 en -f2, 27G-P162f1 en -f2 en 27G-P163f1 en -f2 zijn de resultaten niet vermeld, omdat deze reeksen zijn geëindigd in april 1996 en dus onvoldoende lang zijn om duidelijke informatie over de invloed van het wateraanvoerplan te kunnen bevatten (zie de eisen in § 3.2).

In het nu volgende beschouwen we de geschatte verandering van de stijghoogte door de zomersituatie van het wateraanvoerplan, omdat die het grootste praktische belang heeft. In figuur 4.3 zijn deze veranderingen uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar, waarbij de resultaten zijn onderscheiden naar het watervoerende pakket. En figuur 4.4 toont per watervoerend pakket tevens de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de geschatte veranderingen.

Uit tabel 4.2 en figuur 4.4 blijkt dat 28 van de 41 geschatte veranderingen statistisch significant zijn en verhogingen aangeven van de stijghoogte (ondiep is dit in 14 van de 22 gevallen). Van de overige 13 geschatte veranderingen geven er 11 verhogingen en twee verlagingen aan, zij het de laatste zeer gering (1 cm, voor 27G-P165f1 en -f2). Voor wat betreft de geanalyseerde stijghoogtereeksen is dus de conclusie gerechtvaardigd dat het wateraanvoerplan in vrijwel alle gevallen de stijghoogte heeft verhoogd.

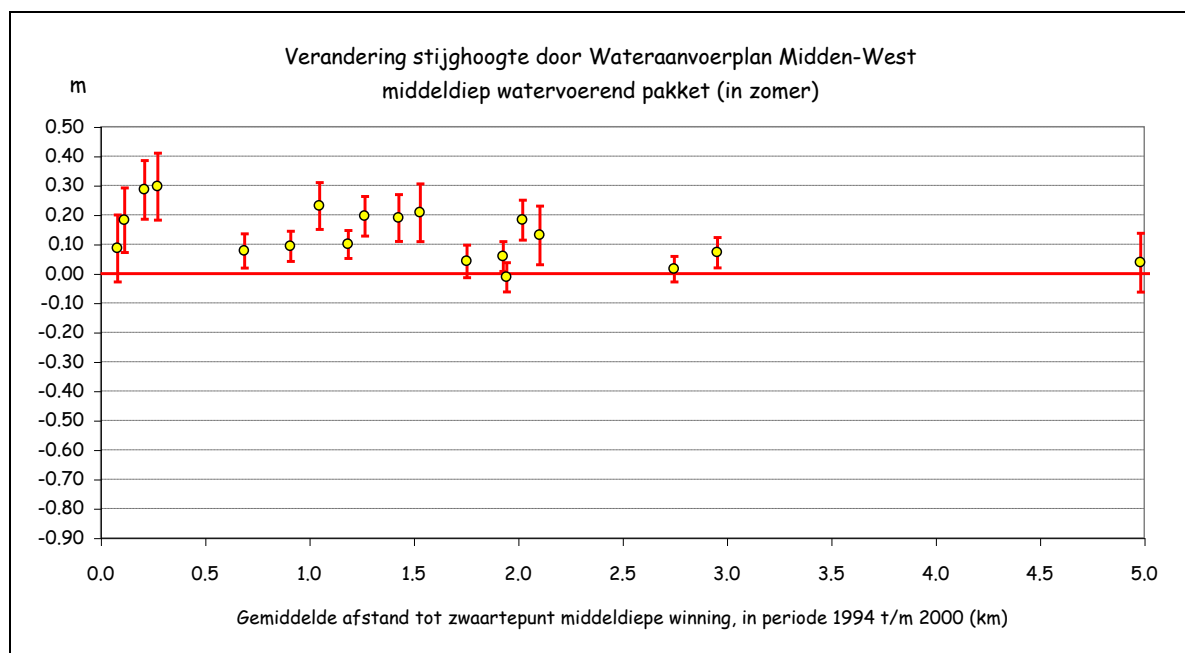
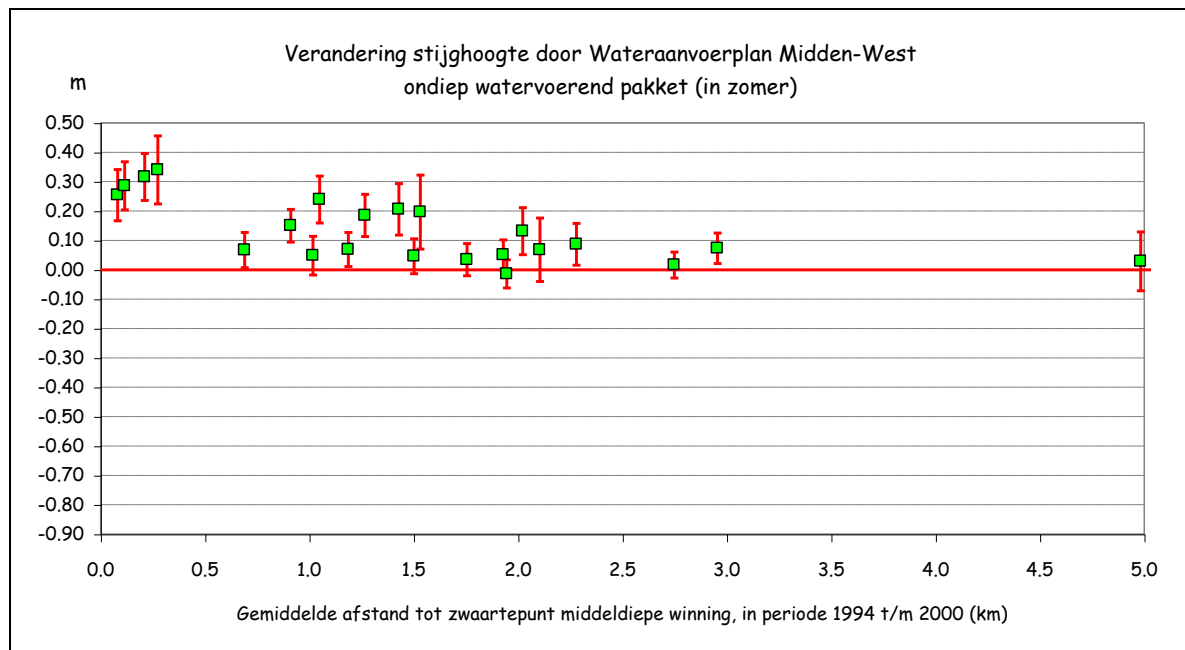
Figuur 4.3: De geschatte verandering van de stijghoogte door het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie, uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar en met onderscheid naar het watervoerende pakket.



Tabel 4.2: Geschatte verandering van de stijghoogte (en bijbehorende standaardfout) door het wateraanvoerplan Midden-West in respectievelijk de zomer-, winter- en intermediaire situatie. De resultaten zijn per wattervoerend pakket gerangschikt naar de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.

Peilbuis	Filt	X-coor	Y-coor	Wvp	Eemlaag	Afstand	Zomer		Winter		Intermediair	
							Verand	St fout	Verand	St fout	Verand	St fout
							m		m		m	
		m	m		?	km						
27G-P163	1	208060	486540	ondiep	ja	0.08	te kort		te kort		te kort	
27G-P164	1	208110	486580	ondiep	ja	0.08	0.25	0.04	-0.02	0.04	0.11	0.04
27G-P162	1	208000	486540	ondiep	ja	0.08	te kort		te kort		te kort	
27G-P169	1	208150	486600	ondiep	ja	0.12	0.29	0.04	0.05	0.04	0.16	0.04
27G-P146	1	207930	486460	ondiep	ja	0.19	te kort		te kort		te kort	
27G-P161	1	207950	486420	ondiep	ja	0.21	0.32	0.04	0.10	0.04	0.19	0.04
27G-P160	1	207960	486350	ondiep	ja	0.27	0.34	0.06	0.09	0.05	0.21	0.05
27G-P145	1	207690	487210	ondiep	ja	0.69	0.07	0.03	-0.02	0.03	0.03	0.03
27G-P144	1	208510	487390	ondiep	ja	0.91	0.15	0.03	0.00	0.03	0.05	0.03
27G-P148	1	207300	485910	ondiep	ja	1.02	0.05	0.03	-0.01	0.03	0.01	0.03
27G-P147	1	207920	485570	ondiep	nee	1.05	0.24	0.04	0.01	0.04	0.10	0.04
27G-P143	1	209190	486890	ondiep	ja	1.19	0.07	0.03	-0.05	0.03	0.02	0.03
27G-P167	1	207450	485490	ondiep	ja	1.27	0.19	0.04	0.07	0.03	0.12	0.03
27G-P152	1	209160	485730	ondiep	ja	1.43	0.21	0.04	-0.02	0.04	0.08	0.04
27G-P153	1	206550	486830	ondiep	nee	1.50	0.05	0.03	0.01	0.03	0.05	0.03
27G-P150	1	208420	485130	ondiep	ja	1.53	0.20	0.06	-0.13	0.06	0.02	0.06
27E-P174	1	207630	488320	ondiep	ja	1.75	0.03	0.03	-0.01	0.03	0.02	0.03
27E-P175	1	209240	488120	ondiep	nee	1.93	0.05	0.03	-0.04	0.02	0.01	0.02
27G-P165	1	209980	486520	ondiep	ja	1.95	-0.01	0.02	-0.10	0.02	-0.04	0.02
27G-P149	1	207380	484700	ondiep	ja	2.02	0.13	0.04	0.04	0.04	0.09	0.04
27G-P151	1	209170	484840	ondiep	ja	2.10	0.07	0.05	-0.19	0.05	-0.08	0.05
27G-P224	1	210080	485600	ondiep	nee	2.28	0.09	0.04	-0.06	0.03	0.06	0.03
27H-P78	1	210750	487050	ondiep	nee	2.75	0.02	0.02	-0.03	0.02	0.00	0.02
27H-P77	1	210740	485420	ondiep	nee	2.96	0.07	0.03	-0.11	0.03	0.00	0.02
27G-P109	1	205610	482260	ondiep	ja	4.98	0.03	0.05	0.00	0.05	0.04	0.05
27G-P163	2	208060	486540	mid	ja	0.08	te kort		te kort		te kort	
27G-P164	2	208110	486580	mid	ja	0.08	0.09	0.06	-0.03	0.05	0.09	0.05
27G-P162	2	208000	486540	mid	ja	0.08	te kort		te kort		te kort	
27G-P169	2	208150	486600	mid	ja	0.12	0.18	0.06	0.02	0.05	0.14	0.05
27G-P146	2	207930	486460	mid	ja	0.19	te kort		te kort		te kort	
27G-P161	2	207950	486420	mid	ja	0.21	0.29	0.05	0.09	0.05	0.16	0.05
27G-P160	2	207960	486350	mid	ja	0.27	0.30	0.06	0.10	0.05	0.17	0.05
27G-P145	2	207690	487210	mid	ja	0.69	0.08	0.03	-0.02	0.03	0.03	0.03
27G-P144	2	208510	487390	mid	ja	0.91	0.09	0.03	-0.05	0.02	0.02	0.02
27G-P147	2	207920	485570	mid	nee	1.05	0.23	0.04	0.00	0.04	0.10	0.04
27G-P143	2	209190	486890	mid	ja	1.19	0.10	0.02	-0.04	0.02	0.03	0.02
27G-P167	2	207450	485490	mid	ja	1.27	0.20	0.03	0.05	0.03	0.11	0.03
27G-P152	2	209160	485730	mid	ja	1.43	0.19	0.04	-0.05	0.04	0.07	0.04
27G-P150	2	208420	485130	mid	ja	1.53	0.21	0.05	-0.03	0.05	0.07	0.04
27E-P174	2	207630	488320	mid	ja	1.75	0.04	0.03	-0.01	0.03	0.03	0.03
27E-P175	2	209240	488120	mid	nee	1.93	0.06	0.03	-0.03	0.02	0.01	0.02
27G-P165	2	209980	486520	mid	ja	1.95	-0.01	0.02	-0.10	0.02	-0.04	0.02
27G-P149	2	207380	484700	mid	ja	2.02	0.18	0.03	0.01	0.03	0.09	0.03
27G-P151	2	209170	484840	mid	ja	2.10	0.13	0.05	-0.09	0.05	0.01	0.05
27H-P78	2	210750	487050	mid	nee	2.75	0.01	0.02	-0.03	0.02	0.00	0.02
27H-P77	2	210740	485420	mid	nee	2.96	0.07	0.03	-0.11	0.03	-0.01	0.02
27G-P109	3	205610	482260	mid	ja	4.98	0.04	0.05	0.01	0.05	0.04	0.05

Figuur 4.4: Voor beide watervoerende pakketten afzonderlijk de geschatte verandering van de stijghoogte door het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie, uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar. Tevens is het 95%-betrouwbaarheidsinterval van elke schatting weer-gegeven.

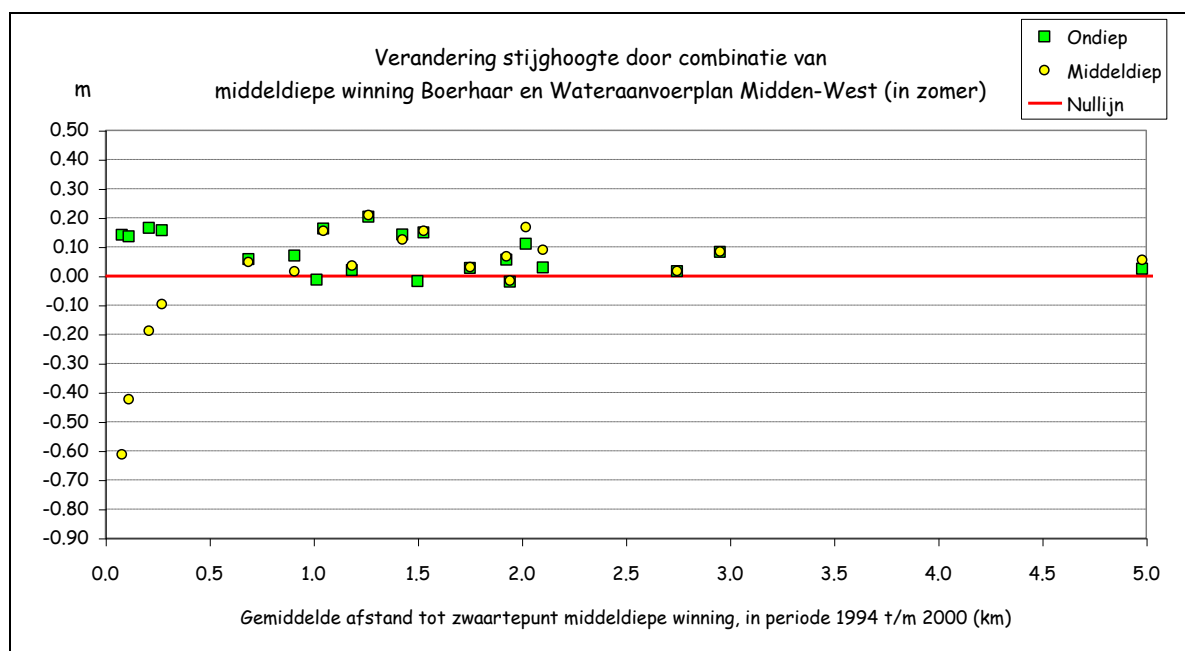


4.3 Combinatie geschatte invloeden winning en wateraanvoerplan

Door somming van de geschatte invloeden van (1) de middeldiepe winning Boerhaar en (2) het wateraanvoerplan Midden-West, beide in de zomersituatie, ontstaat een schatting van hun netto-effect in de zomersituatie. Voor deze somming is uitgegaan van de gemiddelde zomerwinning (juni t/m september) in de periode 1996 – 2000, namelijk 0,6 miljoen m³/jaar (dit is overigens ook het gemiddelde over de periode dat de winning operationeel is). De resultaten van de somming zijn per gemodelleerde stijghoogtereeks vermeld in tabel 4.3, gerangschikt naar de afstand tot het gemiddelde zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar in de periode januari 1994 t/m december 2000. De resultaten zijn tevens vermeld op kaart 3. Van de stijghoogtereeksen 27G-P146f1 en -f2, 27G-P162f1 en -f2, 27G-P163f1 en -f2 zijn de resultaten niet vermeld, omdat deze reeksen niet voldoen aan de eisen om de invloed van het wateraanvoerplan te kunnen schatten en van 27G-P224f1 is het resultaat niet vermeld, omdat deze reeks niet voldoet aan de eisen om de invloed van de middeldiepe winning te kunnen schatten (zie de eisen in § 3.2).

In figuur 4.5 is de geschatte verandering van de stijghoogte door de combinatie van de middeldiepe winning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar, waarbij de resultaten zijn onderscheiden naar het watervoerende pakket. Uit tabel 4.3 en figuur 4.5 blijkt dat er in 32 van de 40 gevallen een verhoging van de stijghoogte is geschat en in de overige 8 gevallen een verlaging. Van de 8 geschatte verlagingen hebben er echter 4 betrekking op de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket op de winplaats, vlakbij de winning. En de overige 4 geschatte verlagingen zijn verwaarloosbaar (hooguit 2 cm). Voor wat betreft de geanalyseerde stijghoogtereeksen mogen we dus concluderen dat in dit onderzoeksgebied, afgezien van de stijghoogten in het middeldiepe watervoerende pakket vlakbij de winning, het wateraanvoerplan de verlaging van de stijghoogte door een middeldiepe winning van 0,6 miljoen m³/jaar te Boerhaar afdoende compenseert. In veel gevallen betreft het netto-effect van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan zelfs een verhoging van de stijghoogte, die kan oplopen tot 20 cm.

Figuur 4.5: De geschatte netto-verandering van de stijghoogte, door de combinatie van de middeldiepe winning Boerhaar (0,6 miljoen m³/jaar) en het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie, uitgezet tegen de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar en met onderscheid naar het watervoerende pakket.



Tabel 4.3: Geschatte netto-verandering van de stijghoogte door de combinatie van de middeldiepe winning Boerhaar en het wateraanvoerplan Midden-West in de zomersituatie. De resultaten zijn per watervoerend pakket gerangschikt naar de afstand tot het recente zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.

Peilbuis	Filt	X-coor	Y-coor	Mv	Bkf	Okf	Wvp	Eemlaag	Afstand	Verand
		m	m	m NAP	m NAP	m NAP		?	km	m
27G-P163	1	208060	486540	2.50	-2.5	-3.5	ondiep	ja	0.08	te kort
27G-P164	1	208110	486580	2.50	-3.5	-4.5	ondiep	ja	0.08	0.14
27G-P162	1	208000	486540	2.60	-3.4	-4.4	ondiep	ja	0.08	te kort
27G-P169	1	208150	486600	2.50	-2.5	-4.5	ondiep	ja	0.12	0.13
27G-P146	1	207930	486460	2.70	-3.8	-4.8	ondiep	ja	0.19	te kort
27G-P161	1	207950	486420	2.60	-2.4	-3.4	ondiep	ja	0.21	0.16
27G-P160	1	207960	486350	2.50	-3.5	-4.5	ondiep	ja	0.27	0.16
27G-P145	1	207690	487210	2.73	-1.3	-2.3	ondiep	ja	0.69	0.06
27G-P144	1	208510	487390	2.50	-1.5	-2.5	ondiep	ja	0.91	0.07
27G-P148	1	207300	485910	2.60	-3.4	-4.4	ondiep	ja	1.02	-0.01
27G-P147	1	207920	485570	3.10	-0.9	-1.9	ondiep	nee	1.05	0.16
27G-P143	1	209190	486890	2.84	-3.2	-4.2	ondiep	ja	1.19	0.02
27G-P167	1	207450	485490	2.80	-2.2	-3.2	ondiep	ja	1.27	0.20
27G-P152	1	209160	485730	3.40	-0.6	-1.6	ondiep	ja	1.43	0.14
27G-P153	1	206550	486830	3.00	-2	-3	ondiep	nee	1.50	-0.02
27G-P150	1	208420	485130	3.00	-1	-2	ondiep	ja	1.53	0.15
27E-P174	1	207630	488320	2.44	-2.1	-3.1	ondiep	ja	1.75	0.03
27E-P175	1	209240	488120	2.80	-1.7	-2.7	ondiep	nee	1.93	0.05
27G-P165	1	209980	486520	3.28	-1.72	-2.72	ondiep	ja	1.95	-0.02
27G-P149	1	207380	484700	3.20	-0.8	-1.8	ondiep	ja	2.02	0.11
27G-P151	1	209170	484840	4.00	0	-1	ondiep	ja	2.10	0.03
27G-P224	1	210080	485600	3.10	-2.9	-4.9	ondiep	nee	2.28	te kort
27H-P78	1	210750	487050	3.40	-0.6	-1.6	ondiep	nee	2.75	0.01
27H-P77	1	210740	485420	3.90	-0.1	-1.1	ondiep	nee	2.96	0.08
27G-P109	1	205610	482260	3.83	-1.4	-2.4	ondiep	ja	4.98	0.02
27G-P163	2	208060	486540	2.50	-16.5	-17.5	mid	ja	0.08	te kort
27G-P164	2	208110	486580	2.50	-14.5	-15.5	mid	ja	0.08	-0.61
27G-P162	2	208000	486540	2.60	-15.4	-16.4	mid	ja	0.08	te kort
27G-P169	2	208150	486600	2.50	-19.5	-21.5	mid	ja	0.12	-0.43
27G-P146	2	207930	486460	2.70	-19.3	-21.3	mid	ja	0.19	te kort
27G-P161	2	207950	486420	2.60	-15.4	-16.4	mid	ja	0.21	-0.19
27G-P160	2	207960	486350	2.50	-15.5	-16.5	mid	ja	0.27	-0.10
27G-P145	2	207690	487210	2.73	-19.8	-21.8	mid	ja	0.69	0.05
27G-P144	2	208510	487390	2.50	-19.5	-20.5	mid	ja	0.91	0.01
27G-P147	2	207920	485570	3.10	-14.4	-16.4	mid	nee	1.05	0.15
27G-P143	2	209190	486890	2.84	-19.2	-21.2	mid	ja	1.19	0.03
27G-P167	2	207450	485490	2.80	-30.2	-32.2	mid	ja	1.27	0.21
27G-P152	2	209160	485730	3.40	-19.6	-21.6	mid	ja	1.43	0.12
27G-P150	2	208420	485130	3.00	-18	-20	mid	ja	1.53	0.15
27E-P174	2	207630	488320	2.44	-20.1	-22.1	mid	ja	1.75	0.03
27E-P175	2	209240	488120	2.80	-12.7	-14.7	mid	nee	1.93	0.07
27G-P165	2	209980	486520	3.28	-18.72	-20.72	mid	ja	1.95	-0.02
27G-P149	2	207380	484700	3.20	-18.8	-20.8	mid	ja	2.02	0.17
27G-P151	2	209170	484840	4.00	-19	-21	mid	ja	2.10	0.09
27H-P78	2	210750	487050	3.40	-14.6	-16.6	mid	nee	2.75	0.02
27H-P77	2	210740	485420	3.90	-12.1	-14.1	mid	nee	2.96	0.08
27G-P109	3	205610	482260	3.83	-30.4	-32.4	mid	ja	4.98	0.05

4.4 Geschatte invloed verplaatsing zwaartepunt middeldiepe winning Boerhaar

Zoals vermeld in § 3.1.4 zal de zwaartepuntsverschuiving vooral de stijghoogten in de directe omgeving van de winning hebben beïnvloed. Voor 8 van de gemodelleerde stijghoogtreeksen bleek er een statistisch significante relatie te bestaan met deze verschuiving (zie tabel 4.4), waarvan 2 in het ondiepe en 6 in het middeldiepe watervoerende pakket.

Tabel 4.4: Geschatte verandering van de stijghoogte door de verplaatsing van het zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar. De resultaten zijn per watervoerend pakket gerangschikt naar de afstand tot het rechte (1994 – 2000) zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.

Peilbuis	Filt	Xcoor	Ycoor	Wvp	Eemlaag	81 - 90	94 - 00	81 - 90	94 - 00	Verpl zwpunt	
		m	m		?	Afst	Afst	Verand	Verand	Involed	Stfout
						km		m / 0,6 miljoen m ³		m	
27G-P163	1	208060	486540	ondiep	ja	0.10	0.08	-0.04	-0.07	-0.03	0.01
27G-P146	1	207930	486460	ondiep	ja	0.06	0.19	-0.09	0.03	0.12	0.03
27G-P163	2	208060	486540	mid	ja	0.10	0.08	-0.62	-0.78	-0.16	0.01
27G-P164	2	208110	486580	mid	ja	0.17	0.08	-0.44	-0.70	-0.26	0.04
27G-P162	2	208000	486540	mid	ja	0.05	0.08	-0.82	-0.73	0.08	0.04
27G-P169	2	208150	486600	mid	ja	0.21	0.12	-0.38	-0.61	-0.23	0.04
27G-P146	2	207930	486460	mid	ja	0.06	0.19	-0.80	-0.37	0.44	0.03
27G-P161	2	207950	486420	mid	ja	0.09	0.21	-0.58	-0.48	0.11	0.04

Zowel voor 27G-P146 als -P163 blijkt de geschatte invloed op de stijghoogte in het middeldiepe watervoerende pakket groter dan op de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket.

De grootste invloed blijkt te zijn opgetreden voor de stijghoogte in peilbuis 27G-P146, filter 2 (middeldiepe watervoerende pakket). Doordat de peilbuis 130 m verder van de winning is komen af te liggen – de afstand tot het zwaartepunt van de middeldiepe winning is toegenomen van 60 m in de periode 1981 – 1990 tot 190 m in de periode 1994 – 2000 – is de geschatte verlaging afgenomen van 80 cm tot 37 cm.

Zoals vermeld in § 4.1, is het mogelijk dat de schattingen voor de stijghoogtoreeksen in de peilbuizen 27G-P146, -P162 en -P163 onzuiver zijn, door de relatief geringe lengte van deze reeksen.

5 Vergelijking met verwachte invloeden

Het door de tijdreeksanalyse verkregen beeld van de beïnvloeding van de stijghoogten door de middeldiepe winning te Boerhaar en het wateraanvoerplan wordt in dit hoofdstuk vergeleken met de vóóraf berekende invloeden, zoals die zijn aangegeven in verschillende rapporten. De vergelijking richt zich eerst op de geschatte invloed van de middeldiepe winning Boerhaar (§ 5.1) en vervolgens op de geschatte netto-invloed van de combinatie van deze winning en het wateraanvoerplan Midden-West (§ 5.2).

5.1 Vergelijking met verwachte invloed middeldiepe winning Boerhaar

De bij de tijdreeksanalyse geschatte invloeden van de middeldiepe winning Boerhaar worden in deze paragraaf tabelmatig en grafisch afgezet tegen de verlagingen zoals berekend in een 4-tal voorgaande studies, namelijk:

- (1) een analytische grondwatermodellering [WMO, 1980];
- (2) een statistische correlatie-analyse [WMO, 1982b];
- (3) een 1^e numerieke grondwatermodellering [WMO en WS, 1990];
- (4) een 2^e numerieke grondwatermodellering [WMO, 1993].

Analytisch grondwatermodel [WMO, 1980]

In 1980, dus nog vóór het starten van de winning Boerhaar, heeft WMO met een analytisch grondwatermodel de theoretische invloed berekend van een middeldiepe winning van 2 miljoen m³ op de stijghoogten in het middeldiepe en het ondiepe watervoerende pakket. Het betreft een model voor de grondwaterstroming in twee watervoerende pakketten, gescheiden door een slecht doorlatend pakket, waarbij onttrekking plaatsvindt aan het tweede pakket. De ondergrens van dat tweede pakket is als ondoorlatend beschouwd. Aansluitend op het gegeven dat het wingebied vrijwel geheel is omgeven door waterlopen met min of meer vast peil, is de omgeving in het model geschematiseerd tot een cirkelvormig eiland met een straal van 750 m. De voor deze modellering gehanteerde geohydrologische parameters zijn afgeleid bij een pomp- en stopproef op de beoogde locatie van de winning, die is gehouden van 20 december 1977 tot 17 januari 1978.

WMO geeft in zijn rapport aan dat de resultaten *de orde van grootte* van de te verwachten verlagingen aangeven. Het reducerende effect van de Holocene klei op de verlagingen van de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket is niet bij de berekening verdisconteerd.

De modelresultaten zijn door WMO gepresenteerd in de vorm van twee kaarten die het verlagingenpatroon aangeven met iso-verlagingslijnen, voor een middeldiepe winning van 2 miljoen m³/jaar (één kaart voor het ondiepe en één kaart voor het middeldiepe watervoerende pakket). De verlagingen van de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket zijn ingetekend met iso-verlagingslijnen met een interval van 10 cm en die in het middeldiepe watervoerende pakket met een interval van 25 cm. Omdat wij voor onze vergelijking de modelresultaten visueel moesten interpoleren uit deze kaarten, betekent dit dat we geen informatie hebben over de met het model geschatte verlagingen van minder dan 10 cm in het ondiepe watervoerende pakket, respectievelijk minder dan 25 cm in het middeldiepe watervoerende pakket.

Correlatie-analyse [WMO, 1982b]

In 1982 heeft WMO een statistische analyse uitgevoerd van een aantal stijghoogtereeksen, die lopen van 28 januari 1976 t/m 31 december 1981. Daarbij is eerst voor de periode zónder de winning – januari 1976 t/m maart 1981 – een lineair regressiemodel afgeleid voor de relatie tussen de betreffende stijghoogte en de stijghoogte in een stambuis. Vervolgens is met dit verband voor de periode mét de winning – april t/m december 1981 – berekend

wat de stijghoogte geweest zou zijn zónder de winning. Uit de gemiddelde discrepantie tussen de waargenomen en berekende stijghoogte is tenslotte per stijghoogtereeks de invloed van de winning op de stijghoogte geschat. De waarnemingen rond de periode van de pompproef in eind december 1977 en januari 1978 zijn hierbij buiten beschouwing gelaten.

De resultaten van de correlatieanalyse zijn door WMO gepresenteerd per stijghoogtefilter en gelden voor een middeldiepe winning van 0,67 miljoen m³/jaar.

1^e numerieke grondwatermodel [WMO en WS, 1990]

In 1990 is door WMO en Waterschap Salland met een numeriek grondwatermodel de theoretische invloed op de stijghoogte berekend van:

- a) een winning te Boerhaar van 4 miljoen m³, gelijk verdeeld over het diepe en het middeldiepe watervoerende pakket;
- b) een combinatie van deze winning en de oorspronkelijk geplande versie van het wateraanvoerplan Midden-West⁴.

Het betrof een stationair model, geprogrammeerd in een spreadsheet volgens de eindige elementen-methode. Door de grote weerstand tegen verticale stroming van de Drenthe-klei, kan de invloed van de diepe winning op de stijghoogten in het middeldiepe en ondiepe watervoerende pakket worden verwaarloosd. De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee slootbodembrestanden, respectievelijk 1,5 dag en 3 dagen. Voor onze vergelijking zijn we uitgegaan van de resultaten bij een slootbodembrestand van 1,5 dag, omdat bij de modeljking bleek dat daarmee de toenmalige realisaties van de stijghoogten in het ondiepe watervoerende pakket het best werden benaderd.

De invloed van de winning is alleen vermeld voor het ondiepe watervoerende pakket, gepresenteerd in een kaart die het verlagingenpatroon aangeeft met iso-verlagingslijnen, van 5, 10, 25, 50 en – vermoedelijk – 75 cm (de binnenste iso-verlagingslijn heeft geen grootte-aanduiding). Dit betekent dat we geen informatie hebben over de met het model geschatte verlagingen van minder dan 5 cm. Door de kleine schaal van de kaart is het echter moeilijk om de met het model berekende verlagingen voor de peilbuizen op de winplaats af te lezen.

2^e numerieke grondwatermodel [WMO, 1993]

In 1993 is het numerieke grondwatermodel op basis van nieuwe inzichten aangepast door WMO en daarbij tevens overgezet naar Modflow⁵. Het aangepaste model houdt nu ook rekening met de invloed van de IJssel op de stijghoogten en met een aantal waterlopen nabij de modelrand. Met het model is de theoretische invloed op de stijghoogte berekend van:

- a) een middeldiepe winning te Boerhaar van 2 miljoen m³/jaar;
- b) een middeldiepe winning te Boerhaar van 4 miljoen m³/jaar;
- c) een combinatie van een middeldiepe winning van 2 miljoen m³/jaar en de oorspronkelijk geplande versie van het wateraanvoerplan Midden-West;
- d) een combinatie van een middeldiepe winning van 4 miljoen m³/jaar en de oorspronkelijk geplande versie van het wateraanvoerplan Midden-West

De invloeden zijn alleen vermeld voor het ondiepe watervoerende pakket, in verschillende kaarten die het berekende verlagingenpatroon aangeven met iso-verlagingslijnen. Voor onze vergelijking zijn we uitgegaan van de met dit model berekende invloed op de stijghoogte van een middeldiepe winning van 2 miljoen m³/jaar. Deze is aangegeven met 12

⁴ De realisering van het wateraanvoerplan wijkt af van het eerste ontwerp, dat was gedimensioneerd op een middeldiepe winning van 2 miljoen m³/jaar. De uiteindelijke uitvoering houdt rekening met een middeldiepe winning van 3 miljoen m³/jaar, conform een aanpassing van de plannen van WMO.

⁵ Modflow is een algemeen programma voor grondwatermodellering, vervaardigd door de Amerikaanse geologische dienst (USGS).

iso-verlagingslijnen, oplopend van 5 tot 60 cm, met een interval van 5 cm. Door de kleine schaal van de kaart en het ontbreken van een topografische achtergrond, is het echter moeilijk om de met het model berekende verlagingen voor de peilbuizen op de winplaats af te lezen.

5.1.1 Presentatie resultaten verschillende studies

In tabel 5.1 zijn de resultaten van de tijdreeksanalyse en de 4 voorgaande studies naast elkaar vermeld, alle voor een middeldiepe winning van 0,6 miljoen m³ per jaar. De resultaten van de correlatieanalyse, geldend voor een middeldiepe winning van 0,67 miljoen m³ per jaar, zijn daartoe vermenigvuldigd met de factor 0,6/0,67. En de resultaten van het analytisch grondwatermodel en van de twee numerieke grondwatermodellen, alle geldend voor een middeldiepe winning van 2 miljoen m³ per jaar, zijn daartoe vermenigvuldigd met de factor 0,6/2. Dergelijke lineaire interpolaties kunnen een vertekend beeld opleveren als het stelsel van waterlopen plaatselijk en/of tijdelijk droog valt bij een grotere winningsomvang – er is dan sprake van een niet-lineair reagerend hydrologisch systeem –, maar dat is hier minder waarschijnlijk, doordat het peil van de waterlopen grotendeels wordt beheerst.

Voor de vergelijking is onderscheid gemaakt naar het zwaartepunt van de middeldiepe winning dat bij de betreffende voorgaande studie is gehanteerd. Bij de correlatie-analyse betrof dat het initiële zwaartepunt, geldend voor de periode 1981 – 1990, omdat er toen maar één middeldiepe pompput was. Uit de verlagingenpatronen hebben wij afgeleid dat het bij de overige drie voorgaande studies gehanteerde zwaartepunt min of meer overeenstemt met het gemiddelde zwaartepunt voor de periode 1994 - 2000. De resultaten zijn in tabel 5.1 gerangschikt naar de afstand van de betreffende peilbuis tot het van toepassing zijnde zwaartepunt. En in figuur 5.1 zijn voor beide watervoerende pakketten afzonderlijk de resultaten van de voorgaande studies in een spreidingsdiagram uitgezet tegen die van deze studie.

5.1.2 Vergelijking resultaten verschillende studies

De presentaties in tabel 5.1 en figuur 5.1 stellen ons in staat om onderstaande conclusies te trekken over de vergelijking van de resultaten van deze studie en voorgaande studies. We gaan daarbij voorbij aan de resultaten van deze studie voor de stijghoogtereeksen 27G-P146f1, -P162f1 en -P163f1, voor de redenen genoemd in § 4.1.

Vergelijking resultaten deze studie en analytisch grondwatermodel

De verlagingen in het ondiepe watervoerende pakket zijn volgens deze studie vlakbij de winning vergelijkbaar met die van het analytische grondwatermodel. Vanaf circa 200 m tot 1,5 km afstand van de winning zijn de verlagingen volgens deze studie daarentegen enigszins groter (enkele cm's). De uitzonderingen hierop vormen 27G-P145f1 en -P167f1, waar bij deze studie nauwelijks, respectievelijk geen verlaging is geschat. En vanaf circa 1,75 km afstand zijn de verlagingen volgens beide studies vergelijkbaar (< 3 à 4 cm). In het middeldiepe watervoerende pakket zijn de verlagingen volgens deze studie vanaf de winning tot circa 300 m afstand groter, met een maximaal verschil van 30 cm. Maar vanaf circa 700 m van de winning zijn de verlagingen volgens beide studies min of meer vergelijkbaar. De uitzonderingen hierop vormen 27G-P145f2 en -P167f2, waar bij deze studie een geringere, respectievelijk geen verlaging is geschat.

Vergelijking resultaten deze studie en statistische correlatie-analyse

Voor beide watervoerende pakketten stemmen de resultaten van beide studies redelijk overeen, zij het dat de verlagingen volgens deze studie doorgaans iets groter zijn. De verschillen zijn echter gering en bedragen voor beide pakketten hooguit circa 8 cm.

Vergelijking resultaten deze studie en 1^e numerieke grondwatermodel

In het ondiepe watervoerende pakket zijn vanaf de winning tot circa 300 m afstand de verlagingen volgens deze studie tot maximaal 6 cm kleiner. Van circa 700 m tot 1,5 km afstand van de winning zijn de verlagingen volgens deze studie daarentegen enkele cm's tot maximaal 5 cm groter. De uitzonderingen hierop vormen 27G-P145f1 en -P167f1, waar bij deze studie nauwelijks, respectievelijk geen verlaging is geschat. En vanaf circa 1,5 km afstand zijn de verlagingen volgens beide studies vergelijkbaar.

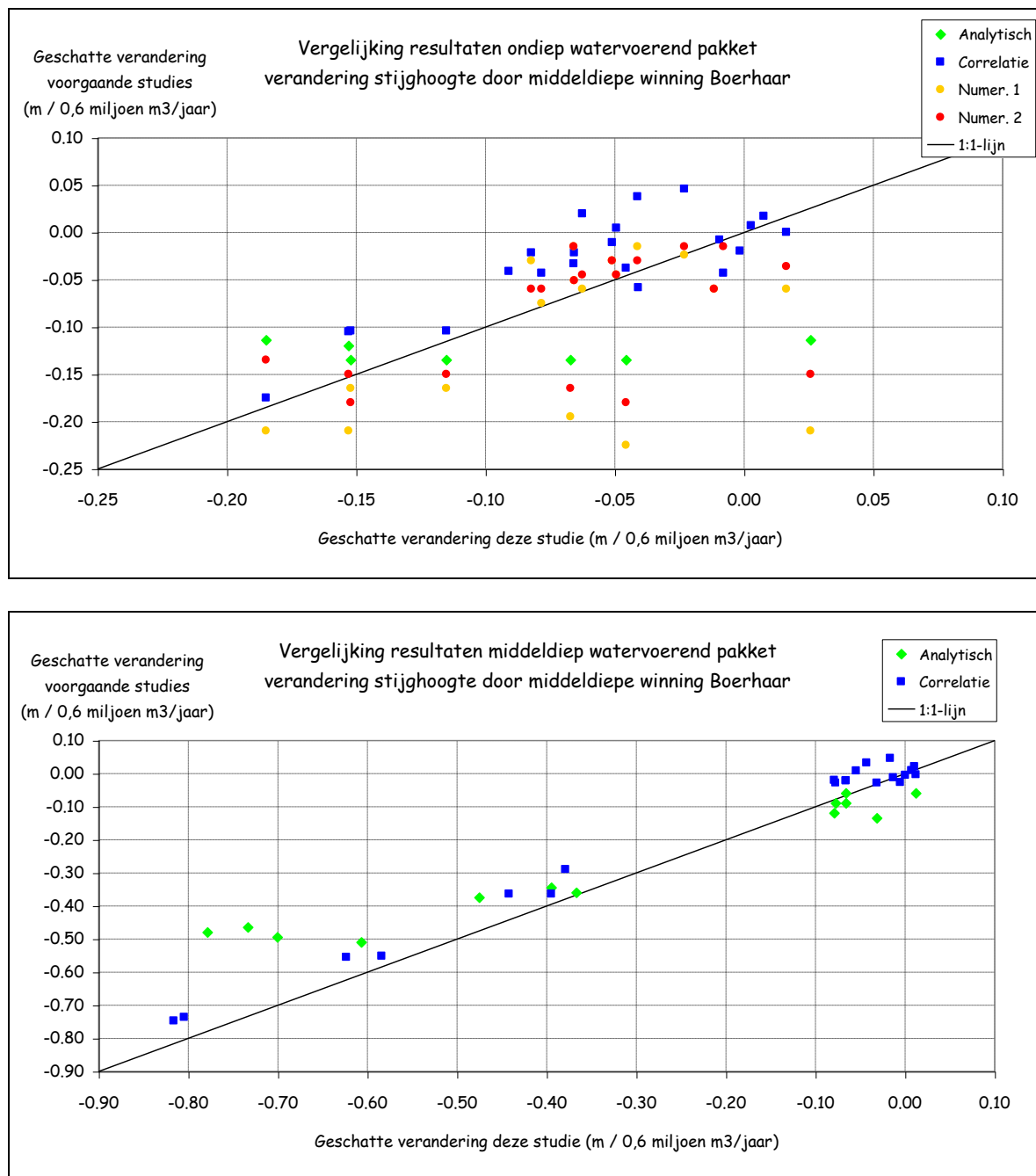
Vergelijking resultaten deze studie en 2^e numerieke grondwatermodel

Het 2^e numerieke grondwatermodel berekent in het ondiepe watervoerende pakket iets kleinere verlagingen dan het 1^e numerieke grondwatermodel. Vlakbij de winning tot circa 200 m afstand zijn de verlagingen volgens deze studie maximaal 3 cm kleiner dan volgens het 2^e numerieke grondwatermodel. Van circa 200 m tot 1,5 km m afstand van de winning zijn de verlagingen volgens deze studie daarentegen enkele cm's tot maximaal 5 cm groter. De uitzonderingen hierop vormen 27G-P145f1 en -P167f1, waar bij deze studie nauwelijks, respectievelijk geen verlaging is geschat. En vanaf circa 1,5 km afstand zijn de verlagingen volgens beide studies vergelijkbaar.

Tabel 5.1: De geschatte verandering van de stijghoogte bij een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³ per jaar, volgens deze studie en een viertal voorgaande studies. De resultaten zijn per watervoerend pakket gerangschikt naar de afstand tot het van toepassing zijnde zwaartepunt van de middeldiepe winning.

Ondiep watervoerend pakket, 1981 - 1990						Ondiep watervoerend pakket, 1994 - 2000							
Peilbuis	Filt	Eemlaag	Afstand	Deze studie	Correlatie	Peilbuis	Filt	Eemlaag	Afstand	Deze studie	Analytisch	Numer. 1	Numer. 2
		?	km	m / 0,6 milj m ³ /jaar				?	km	m / 0,6 miljoen m ³ /jaar			
27G-P162	1	ja	0.05	-0.05	-0.04	27G-P163	1	ja	0.08	-0.07	-0.14	-0.20	-0.17
27G-P146	1	ja	0.06	-0.09	-0.04	27G-P164	1	ja	0.08	-0.12	-0.14	-0.17	-0.15
27G-P161	1	ja	0.09	-0.15	-0.10	27G-P162	1	ja	0.08	-0.05	-0.14	-0.23	-0.18
27G-P163	1	ja	0.10	-0.04	-0.06	27G-P169	1	ja	0.12	-0.15	-0.14	-0.17	-0.18
27G-P160	1	ja	0.16	-0.18	-0.17	27G-P146	1	ja	0.19	0.03	-0.11	-0.21	-0.15
27G-P164	1	ja	0.17	-0.12	-0.10	27G-P161	1	ja	0.21	-0.15	-0.12	-0.21	-0.15
27G-P169	1	ja	0.21	-0.15	-0.10	27G-P160	1	ja	0.27	-0.18	-0.11	-0.21	-0.14
27G-P145	1	ja	0.75	-0.01		27G-P145	1	ja	0.69	-0.01	-0.03 - 0	-0.06	-0.06
27G-P148	1	ja	0.89	-0.06	0.02	27G-P144	1	ja	0.91	-0.08	-0.03 - 0	-0.03	-0.06
27G-P147	1	nee	0.94	-0.08	-0.04	27G-P148	1	ja	1.02	-0.06	-0.03 - 0	-0.06	-0.05
27G-P144	1	ja	1.04	-0.08	-0.02	27G-P147	1	nee	1.05	-0.08	-0.03 - 0	-0.08	-0.06
27G-P167	1	ja	1.14	0.02	0.00	27G-P143	1	ja	1.19	-0.05	-0.03 - 0	-0.03	-0.03
27G-P143	1	ja	1.29	-0.05	-0.01	27G-P167	1	ja	1.27	0.02	-0.03 - 0	-0.06	-0.04
27G-P152	1	ja	1.43	-0.07	-0.02	27G-P152	1	ja	1.43	-0.07	-0.03 - 0	-0.05	-0.05
27G-P153	1	nee	1.45	-0.07	-0.03	27G-P153	1	nee	1.50	-0.07	-0.03 - 0	-0.02	-0.02
27G-P150	1	ja	1.45	-0.05	0.00	27G-P150	1	ja	1.53	-0.05	-0.03 - 0	-0.05	-0.05
27E-P174	1	ja	1.84	-0.01	-0.01	27E-P174	1	ja	1.75	-0.01	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02 - 0
27G-P149	1	ja	1.90	-0.02	0.05	27E-P175	1	nee	1.93	0.00	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02 - 0
27G-P165	1	ja	2.02	-0.01	-0.04	27G-P165	1	ja	1.95	-0.01	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02
27E-P175	1	nee	2.06	0.00	0.01	27G-P149	1	ja	2.02	-0.02	-0.03 - 0	-0.02	-0.02
27G-P151	1	ja	2.06	-0.04	0.04	27G-P151	1	ja	2.10	-0.04	-0.03 - 0	-0.02	-0.03
27H-P78	1	nee	2.84	0.00	-0.02	27H-P78	1	nee	2.75	0.00	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02 - 0
27H-P77	1	nee	2.99	0.01	0.02	27H-P77	1	nee	2.96	0.01	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02 - 0
27G-P109	1	ja	4.86	-0.01		27G-P109	1	ja	4.98	-0.01	-0.03 - 0	-0.02 - 0	-0.02 - 0
Middeldiep watervoerend pakket, 1981 - 1990						Middeldiep watervoerend pakket, 1994 - 2000							
27G-P162	2	ja	0.05	-0.82	-0.75	27G-P163	2	ja	0.08	-0.78	-0.48		
27G-P146	2	ja	0.06	-0.80	-0.74	27G-P164	2	ja	0.08	-0.70	-0.50		
27G-P161	2	ja	0.09	-0.58	-0.55	27G-P162	2	ja	0.08	-0.73	-0.47		
27G-P163	2	ja	0.10	-0.62	-0.56	27G-P169	2	ja	0.12	-0.61	-0.51		
27G-P160	2	ja	0.16	-0.39	-0.36	27G-P146	2	ja	0.19	-0.37	-0.36		
27G-P164	2	ja	0.17	-0.44	-0.36	27G-P161	2	ja	0.21	-0.48	-0.38		
27G-P169	2	ja	0.21	-0.38	-0.29	27G-P160	2	ja	0.27	-0.39	-0.35		
27G-P145	2	ja	0.75	-0.03	-0.03	27G-P145	2	ja	0.69	-0.03	-0.14		
27G-P147	2	nee	0.94	-0.08	-0.03	27G-P144	2	ja	0.91	-0.08	-0.12		
27G-P144	2	ja	1.04	-0.08	-0.02	27G-P147	2	nee	1.05	-0.08	-0.09		
27G-P167	2	ja	1.14	0.01	0.00	27G-P143	2	ja	1.19	-0.07	-0.09		
27G-P143	2	ja	1.29	-0.07	-0.02	27G-P167	2	ja	1.27	0.01	-0.06		
27G-P152	2	ja	1.43	-0.07	-0.02	27G-P152	2	ja	1.43	-0.07	-0.06		
27G-P150	2	ja	1.45	-0.05	0.01	27G-P150	2	ja	1.53	-0.05	-0.08 - 0		
27E-P174	2	ja	1.84	-0.01	-0.01	27E-P174	2	ja	1.75	-0.01	-0.08 - 0		
27G-P149	2	ja	1.90	-0.02	0.05	27E-P175	2	nee	1.93	0.01	-0.08 - 0		
27G-P165	2	ja	2.02	-0.01	-0.03	27G-P165	2	ja	1.95	-0.01	-0.08 - 0		
27E-P175	2	nee	2.06	0.01	0.01	27G-P149	2	ja	2.02	-0.02	-0.08 - 0		
27G-P151	2	ja	2.06	-0.04	0.03	27G-P151	2	ja	2.10	-0.04	-0.08 - 0		
27H-P78	2	nee	2.84	0.00	-0.01	27H-P78	2	nee	2.75	0.00	-0.08 - 0		
27H-P77	2	nee	2.99	0.01	0.02	27H-P77	2	nee	2.96	0.01	-0.08 - 0		
27G-P109	3	ja	4.86	0.02		27G-P109	3	ja	4.98	0.02	-0.08 - 0		

Figuur 5.1: Per watervoerend pakket het spreidingsdiagram waarin de volgens enkele voorgaande studies geschatte verandering van de stijghoogte bij een middeldiepe winning te Boerhaar van 0,6 miljoen m³ per jaar is uitgezet tegen de verandering volgens deze studie.



5.1.3 Evaluatie van de vergelijking

De resultaten van deze studie stemmen het meest overeen met die van de correlatie-analyse, wat niet verwonderlijk is, want beide komen neer op een statistische reconstructie van de beïnvloeding van de stijghoogte, waarbij is gecorrigeerd voor de meteorologische invloed. Het geringe systematische verschil tussen de resultaten van beide studies kan veroorzaakt zijn door het feit dat de bij de correlatie-analyse gehanteerde stijghoogtetrekken slechts over een zeer beperkte periode (9 maanden) informatie over de invloed van de middeldiepe winning bevatten.

Nabij de winning geeft deze studie middeldiep grotere verlagingen aan dan het analytisch grondwatermodel. En ook geeft deze studie nabij de winning ondiep kleinere verlagingen aan dan de twee numerieke grondwatermodellen. Als we er van uitgaan dat de resultaten van deze studie de werkelijkheid beter benaderen, omdat er meer informatie is gehan-

teerd, kan dit er op duiden dat de verticale hydraulische weerstand van de Eemlaag ter plaatse van de winplaats doorgaans groter is dan is aangenomen bij de analytische en numerieke modelleringen.

5.2 Vergelijking met verwachte invloed wateraanvoerplan Midden-West

Een doelstelling van deze studie was ook om de geschatte invloed van het wateraanvoerplan Midden-West op de stijghoogte te vergelijken met die berekend in voorgaande studies. Hiervoor komt echter alleen in aanmerking de numerieke grondwatermodellering van [Waterschap Salland, 1994], waarbij de netto-invloed op de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket is berekend van de combinatie van een middeldiepe winning van 3 miljoen m³/jaar en het wateraanvoerplan Midden-West, in een zomersituatie. Die studie gaat namelijk uit van de uitvoering van het wateraanvoerplan zoals die uiteindelijk diende te worden gerealiseerd. De resultaten van die numerieke grondwatermodellering zijn echter niet zondermeer vergelijkbaar met die van de door ons uitgevoerde tijdreeksanalyse, doordat:

- (1) het grondwatermodel de netto-invloed heeft berekend van de combinatie van een middeldiepe winning van 3 miljoen m³/jaar en het wateraanvoerplan Midden-West voor de situatie van 14 augustus 1986 – een extreem droge situatie-, terwijl die netto-invloed bij onze studie is berekend als gemiddelde over de maanden juni t/m september van elk van de jaren 1996 t/m 2000⁶ - die niet zo droog waren;
- (2) de bij onze studie berekende netto-invloed heeft betrekking op een middeldiepe winning van een geringere omvang, namelijk 0,6 miljoen m³/jaar. En lineaire extrapolatie van de resultaten naar een andere omvang van de winning is hier niet verantwoord, omdat de netto-invloed van de winning en het wateraanvoerplan niet-lineair zal veranderen met de omvang van de winning.

Om de eerste beperking enigszins op te heffen zijn aanvullende tijdreeksanalyses van alle stijghoogtereeksen uitgevoerd, weer met alle in hoofdstuk 3 vermelde invoerreeksen, maar nu met de invoerreeks van het wateraanvoerplan in de zomer opgesplitst in twee invoerreeksen. De eerste is gelijk aan de oorspronkelijke, met uitzondering echter van de waarde in de maand augustus 2000, want die is op 0 gezet (was 1). En de tweede heeft steeds de waarde 0, behalve in de maand augustus 2000, want dan bedraagt die 1. Op deze wijze wordt de netto-invloed van de winning en het wateraanvoerplan ook geschat in een relatief droge situatie. De situatie in augustus 2000 is echter minder extreem droog dan in augustus 1986, zoals bijvoorbeeld wordt geïllustreerd door de stijghoogten van 27G-P109f1 in die twee maanden (zie bijlage 1).

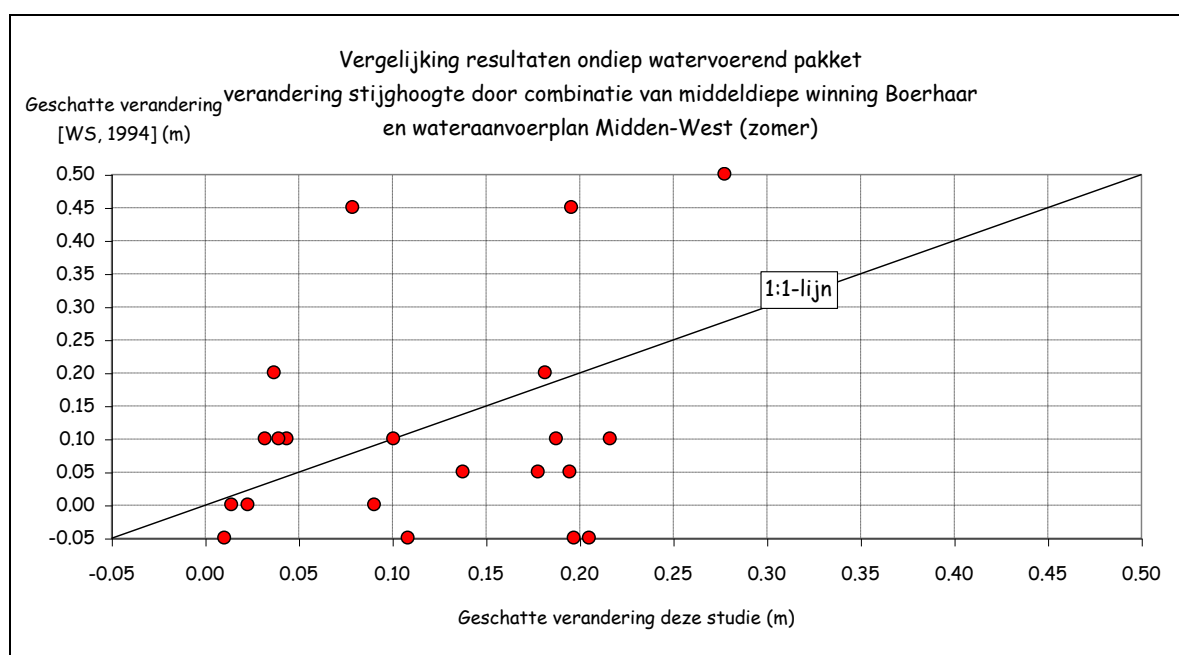
Met in het achterhoofd bovenstaande beperkingen, zijn de resultaten van het grondwatermodel en de tijdreeksanalyse toch met elkaar vergeleken. In tabel 5.2 zijn de geschatte veranderingen volgens beide studies vermeld, met tevens onderscheid naar de resultaten van de oorspronkelijke tijdreeksanalyse en de aanvullende tijdreeksanalyse. En in figuur 5.2 zijn de resultaten van het grondwatermodel en de aanvullende tijdreeksanalyse tegen elkaar uitgezet in een spreidingsdiagram.

⁶ Voor de meeste stijghoogtereeksen eindigt de modelperiode in het voorjaar van 2001, doordat er door de MKZ-crisis circa drie maanden achtereen geen stijghoogten konden worden gemeten.

Tabel 5.2: De geschatte verandering van de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket bij de combinatie van de middeldiepe winning te Boerhaar en het wateraanvoerplan (zomersituatie), volgens twee uitvoeringen van de tijdreeksanalyse (zie tekst), die uitgaan van 0,6 miljoen m³/jaar en volgens een numeriek grondwatermodel, dat uitgaat van 3 miljoen m³/jaar [Waterschap Salland, 1994]. De resultaten zijn gerangschikt naar de afstand tot het recente (1994 – 2000) zwaartepunt van de middeldiepe winning Boerhaar.

Peilbuis	Filt	Eemlaag	Afstand	Deze studie		WS, 1994
				jun - sep	aug	aug
				1996 - 2000	2000	1986
		?	km	m	m	m
27G-P164	1	ja	0.08	0.14	0.19	0.05
27G-P169	1	ja	0.12	0.13	0.18	0.05
27G-P161	1	ja	0.21	0.16	0.20	-0.05
27G-P160	1	ja	0.27	0.16	0.21	-0.05
27G-P145	1	ja	0.69	0.06	0.11	-0.05
27G-P144	1	ja	0.91	0.07	0.14	0.05
27G-P148	1	ja	1.02	-0.01	0.01	-0.05
27G-P147	1	nee	1.05	0.16	0.18	0.20
27G-P143	1	ja	1.19	0.02	0.04	0.10
27G-P167	1	ja	1.27	0.20	0.22	0.10
27G-P152	1	ja	1.43	0.14	0.20	0.45
27G-P153	1	nee	1.50	-0.02	0.01	0.00
27G-P150	1	ja	1.53	0.15	0.28	0.50
27E-P174	1	ja	1.75	0.03	0.09	0.00
27E-P175	1	nee	1.93	0.05	0.10	0.10
27G-P165	1	ja	1.95	-0.02	0.03	0.10
27G-P149	1	ja	2.02	0.11	0.04	0.20
27G-P151	1	ja	2.10	0.03	0.08	0.45
27H-P78	1	nee	2.75	0.01	0.04	0.10
27H-P77	1	nee	2.96	0.08	0.19	0.10
27G-P109	1	ja	4.98	0.02	0.02	0.00

Figuur 5.2: Spreidingsdiagram waarin de geschatte verandering van de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket bij de combinatie van de middeldiepe winning te Boerhaar en het wateraanvoerplan (zomersituatie), volgens een numeriek grondwatermodel, dat uitgaat van 3 miljoen m³/jaar [Waterschap Salland, 1994], is uitgezet tegen de geschatte verandering volgens een speciale uitvoering van de tijdreeksanalyse (zie tekst), die uitgaat van 0,6 miljoen m³/jaar.



Uit tabel 5.2 blijkt dat de aanvullende tijdreeksanalyse inderdaad in vrijwel alle gevallen grotere netto-invloeden oplevert van de winning en het wateraanvoerplan dan de oorspronkelijke tijdreeksanalyse. En uit tabel 5.2 en figuur 5.2 blijkt dat de aanvullende tijdreeksanalyse in 13 van de 21 gevallen grotere netto-invloeden aangeeft dan het numerieke grondwatermodel. Van deze 13 bevinden zich er 7 binnen 1 km afstand van het zwaartepunt van de winning. In de 8 overige gevallen is er met de aanvullende tijdreeksanalyse een geringere netto-invloed geschat dan met het numerieke grondwatermodel. Het is echter denkbaar dat dit komt doordat het numerieke grondwatermodel de netto-invloed heeft berekend voor een extremere droge situatie.

6 Invloed toename middeldiepe winning?

In verband met de toekomstplannen van WMO met betrekking tot de winning Boerhaar, is er ook behoefte aan een beeld van de invloed van een toename van de middeldiepe winning, tot respectievelijk 1,2 en 3,15 miljoen m³/jaar. Het is echter niet mogelijk dat beeld te schetsen door de resultaten van deze studie te extrapoleren, want:

- (1) de met deze studie geschatte invloeden buiten de veronderstelde invloedsstraal van de huidige winning (0,6 miljoen m³/jaar) schommelen rond de waarde nul (ze zijn soms positief, soms negatief) en zullen dat ook ná extrapolatie – in feite het vermenigvuldigen van geschatte invloeden – blijven doen, zodat het niet mogelijk is door extrapolatie een indruk van de invloedsstraal bij een grotere winning te krijgen;
- (2) de bij deze studie geschatte invloeden van de middeldiepe winning hebben betrekking op de situatie zónder het wateraanvoerplan en geven dus ook ná extrapolatie nog geen beeld van een toekomstige situatie – waar het wateraanvoerplan immers actief is;
- (3) de bij deze studie geschatte netto-invloeden van de combinatie van de middeldiepe winning en het wateraanvoerplan hebben betrekking op een winningsomvang van 0,6 miljoen m³/jaar en er kan worden aangenomen dat het vergroten van de winningsomvang tot een niet-lineaire verandering van de netto-invloed zal leiden. Een lineaire extrapolatie van de bij deze studie geschatte netto-invloeden heeft daarom geen zin.

Om een beeld te kunnen schetsen van de invloed van de toename van de middeldiepe winning is het derhalve nodig een numerieke grondwatermodellering uit te voeren, zodat voldoende rekening kan worden gehouden met de niet-lineaire veranderingen die zullen optreden. Dit numerieke model dient echter wel eerst zoveel mogelijk te worden geijkt op de resultaten van deze studie.

Referenties

Baggelaar, P.K. (1988): "Tijdreeksanalyse bij verlagingsonderzoek: principe en voorbeeld". *H₂O* (21), 1988, Nr. 16, blz. 443 – 450.

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

Hemker, C.J. and Maas, C. (1987): "Unsteady flow to wells in layered and fissured aquifer systems". *Journal of Hydrology*, 90, pp. 231 – 249.

KNMI (1972): "Klimaatatlas van Nederland". KNMI, De Bilt.

Kruseman, G.P. and De Ridder, N.A. (1970): "Analysis and evaluation of pumping test data". Bulletin 11, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 1970.

McLeod, G. (1983): "Box Jenkins in Practice". Time Series Library, Gwilym Jenkins & Partners Ltd., Lancaster.

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

Stol, P.T. (1969): "Use of computers for the investigation of the hydrologic properties of an area, exemplified with the temporary drawdown of groundwater levels". Verspreide overdrukken, nr. 89, ICW, Wageningen.

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

WMO (1982a): "Grondwaterwinning Boerhaar – De invloed op de omgeving II – Pomp- en stopproef diepe watervoerende pakket". Waterleiding Maatschappij Overijssel NV, afdeling Onderzoek, Zwolle, juni 1982.

WMO (1982b): "Grondwaterwinning Boerhaar – De invloed op de omgeving III- Berekening van de verlagingen tijdens de proefwinning van 6 april tot 31 december 1981". Waterleiding Maatschappij Overijssel NV, afdeling Onderzoek, Zwolle, augustus 1982.

WMO en WS (1990): "Integraal Wataeraanvoerplan Midden-West – Modelsimulatie Boerhaar". Waterleiding Maatschappij Overijssel NV en Waterschap Salland, november 1990.

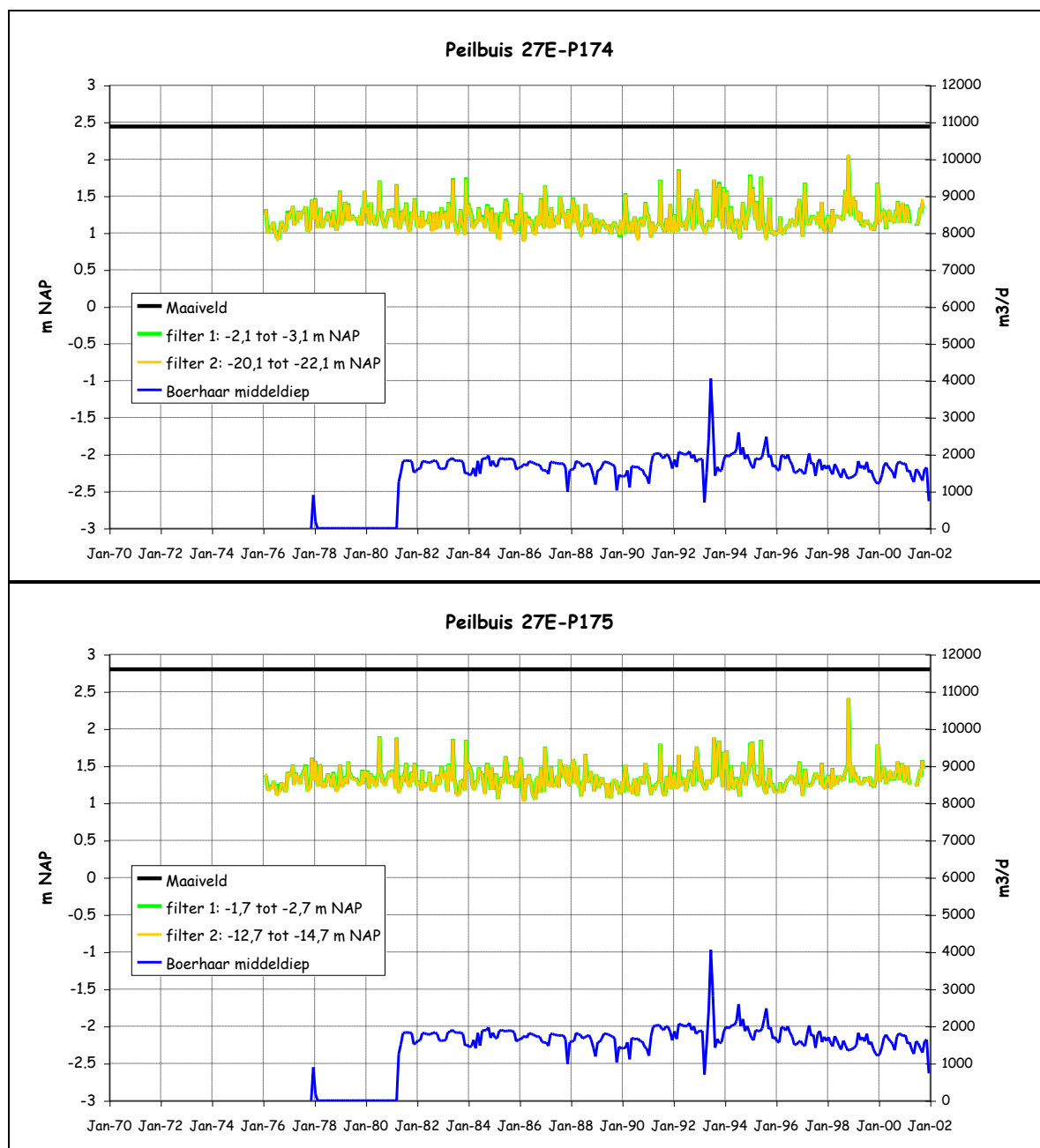
WMO (1993): "Integraal Wataeraanvoerplan Midden-West – Aanpassingen modelsimulatie Boerhaar". Waterleiding Maatschappij Overijssel NV, afdeling Onderzoek, 628.11 BH, 95-1677, 3 februari 1993.

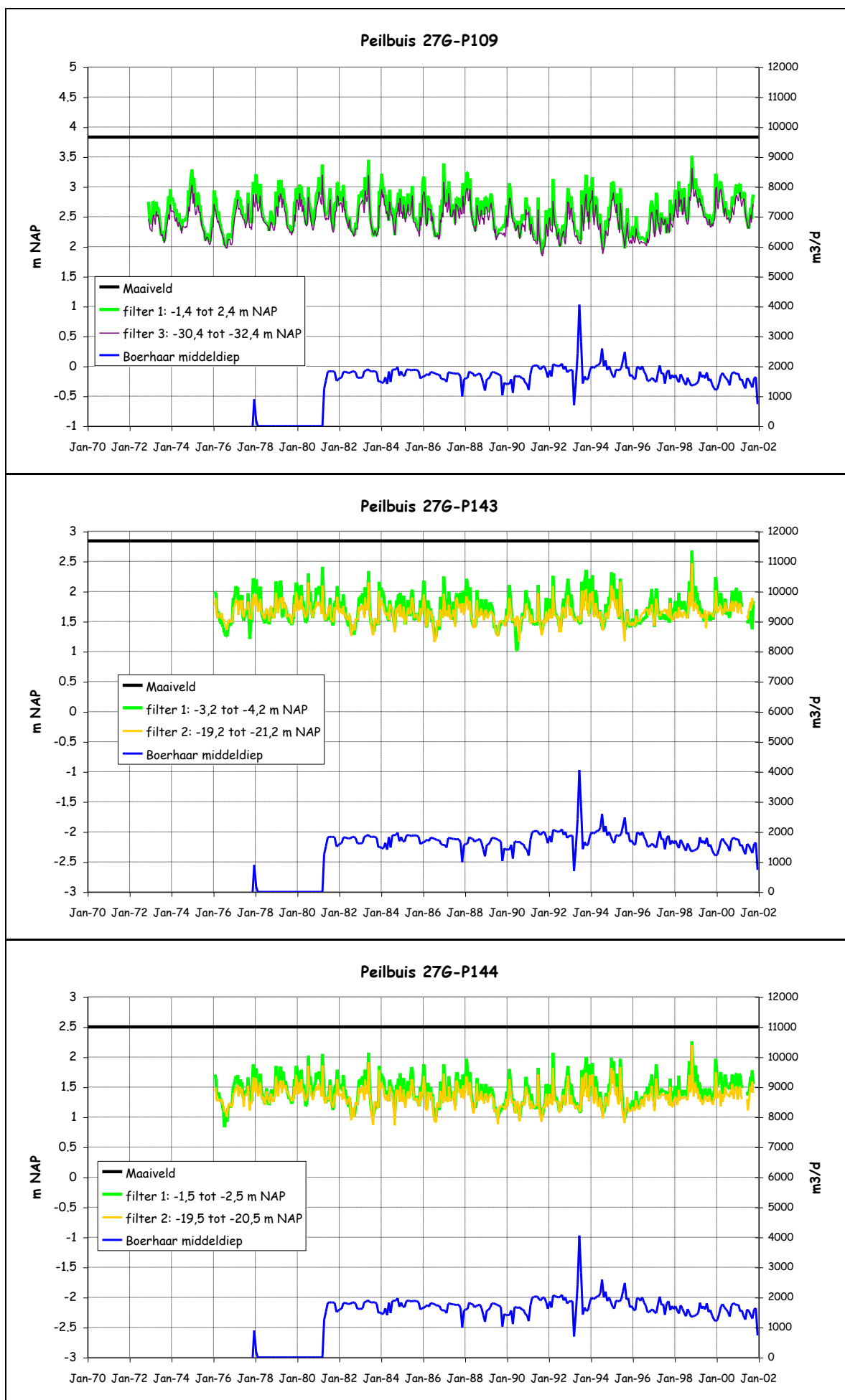
WMO (2002): "Onttrekkingsdebieten Boerhaar". Waterleiding Maatschappij Overijssel NV, afdeling Onderzoek, interne notitie van Marcel Boerefijn, 7 januari 2002.

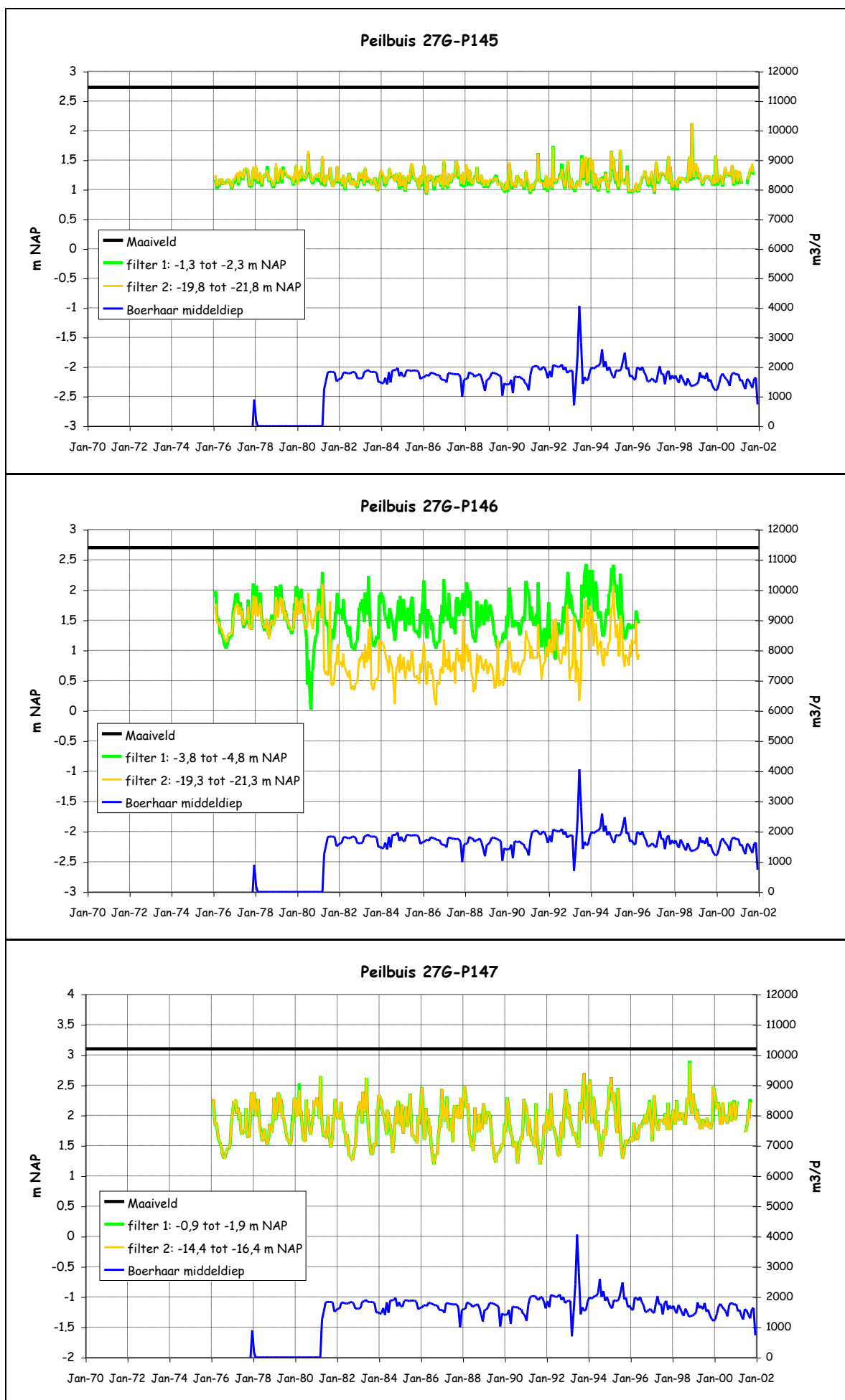
Waterschap Salland (1994): "Integraal Watervoorzieningsplan Midden-West". Sector Ontwikkeling en Projecten, oktober 1994.

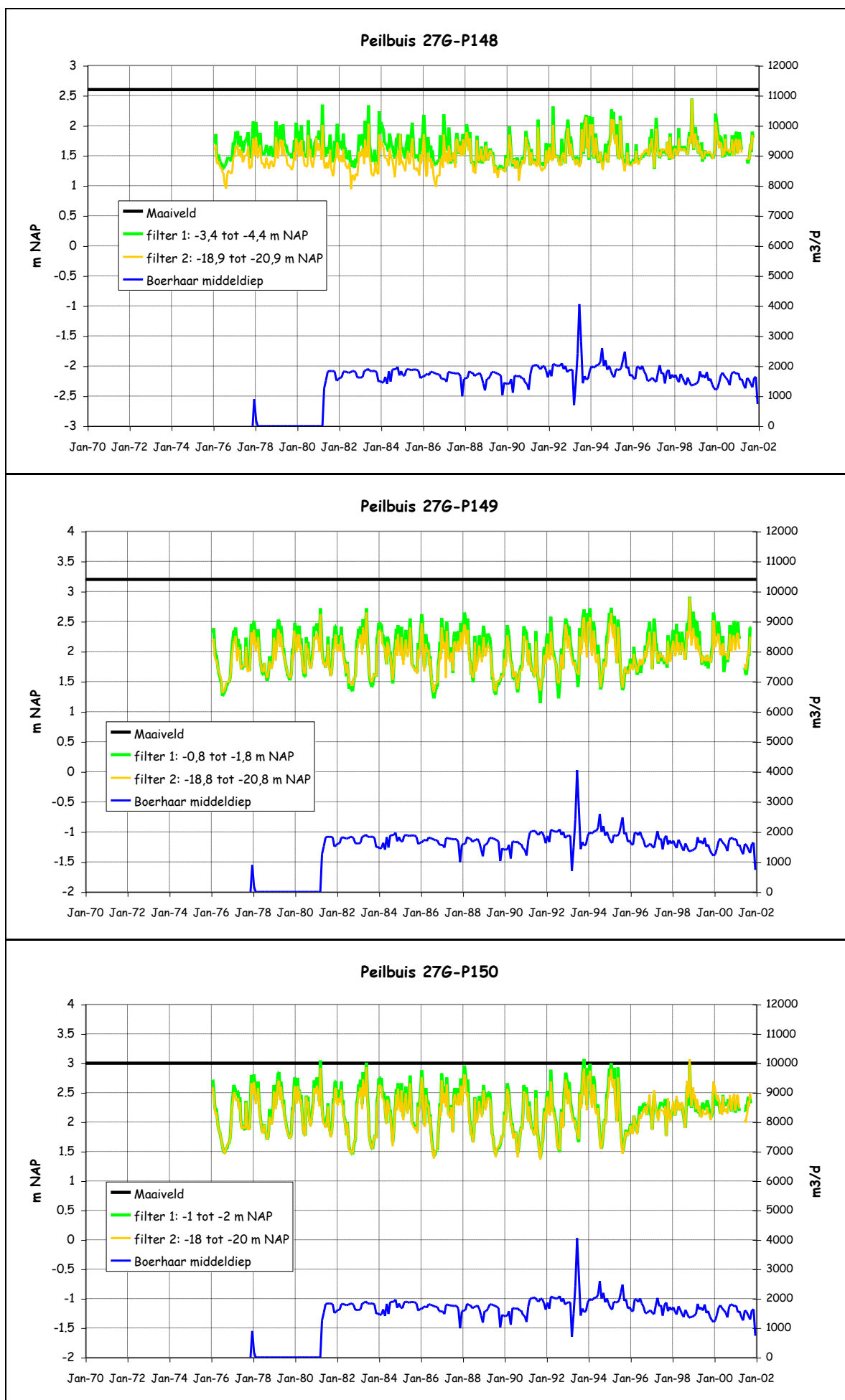
Witteveen+Bos (1999): "Grondwateronderzoek De Wenberg". Deventer, augustus 1999.

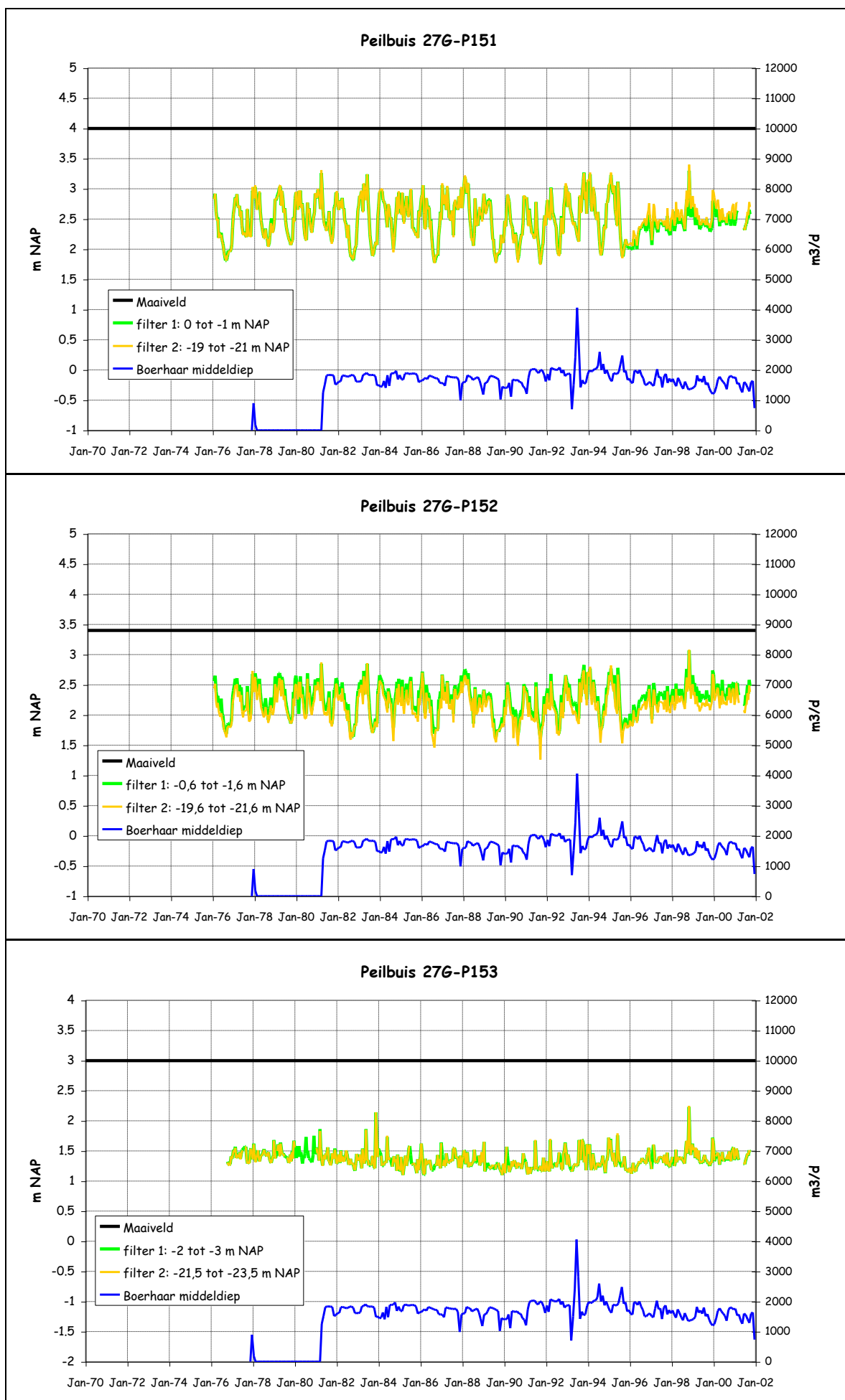
Bijlage 1. Grafieken beschouwde stijghoogtereeksen

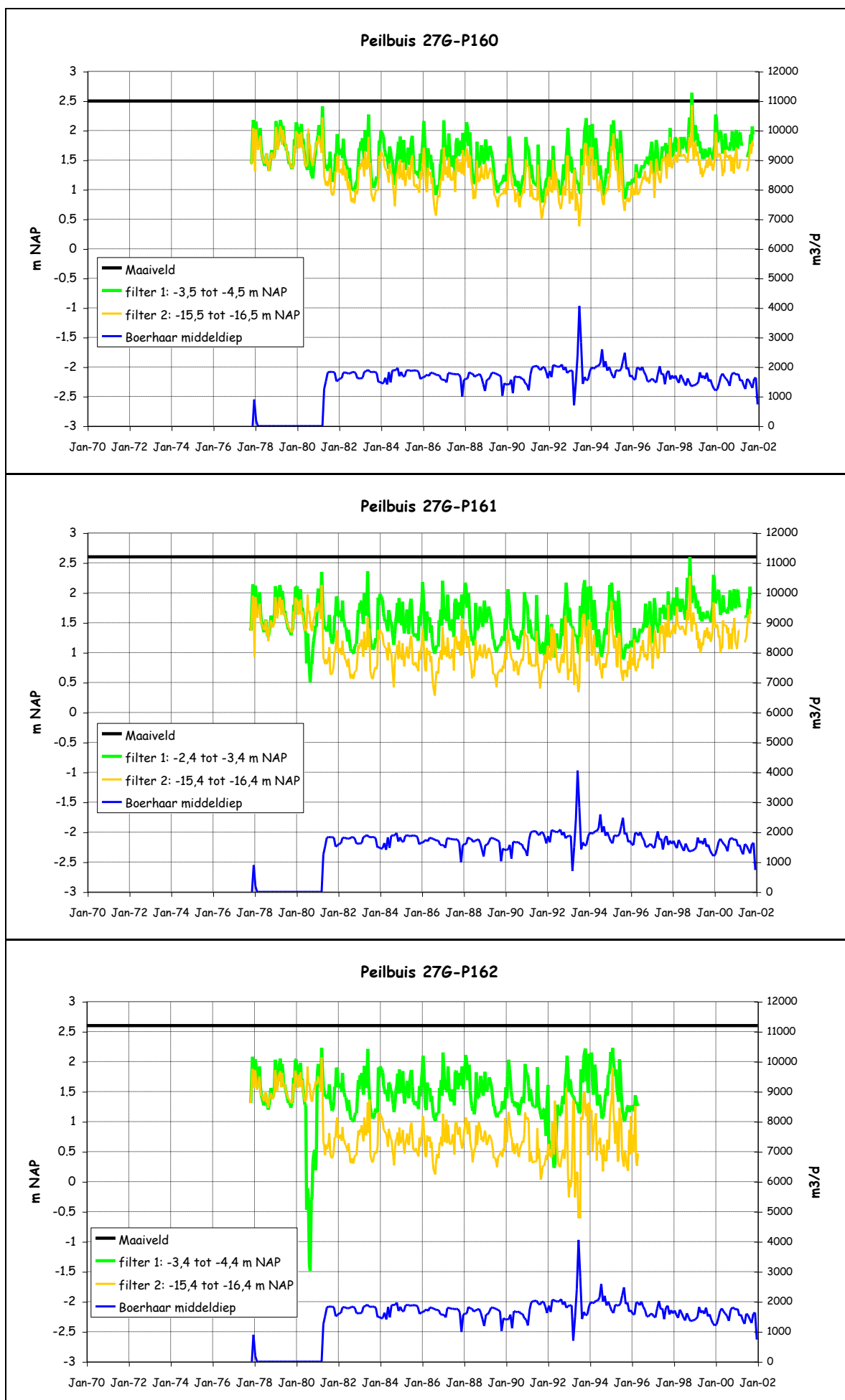


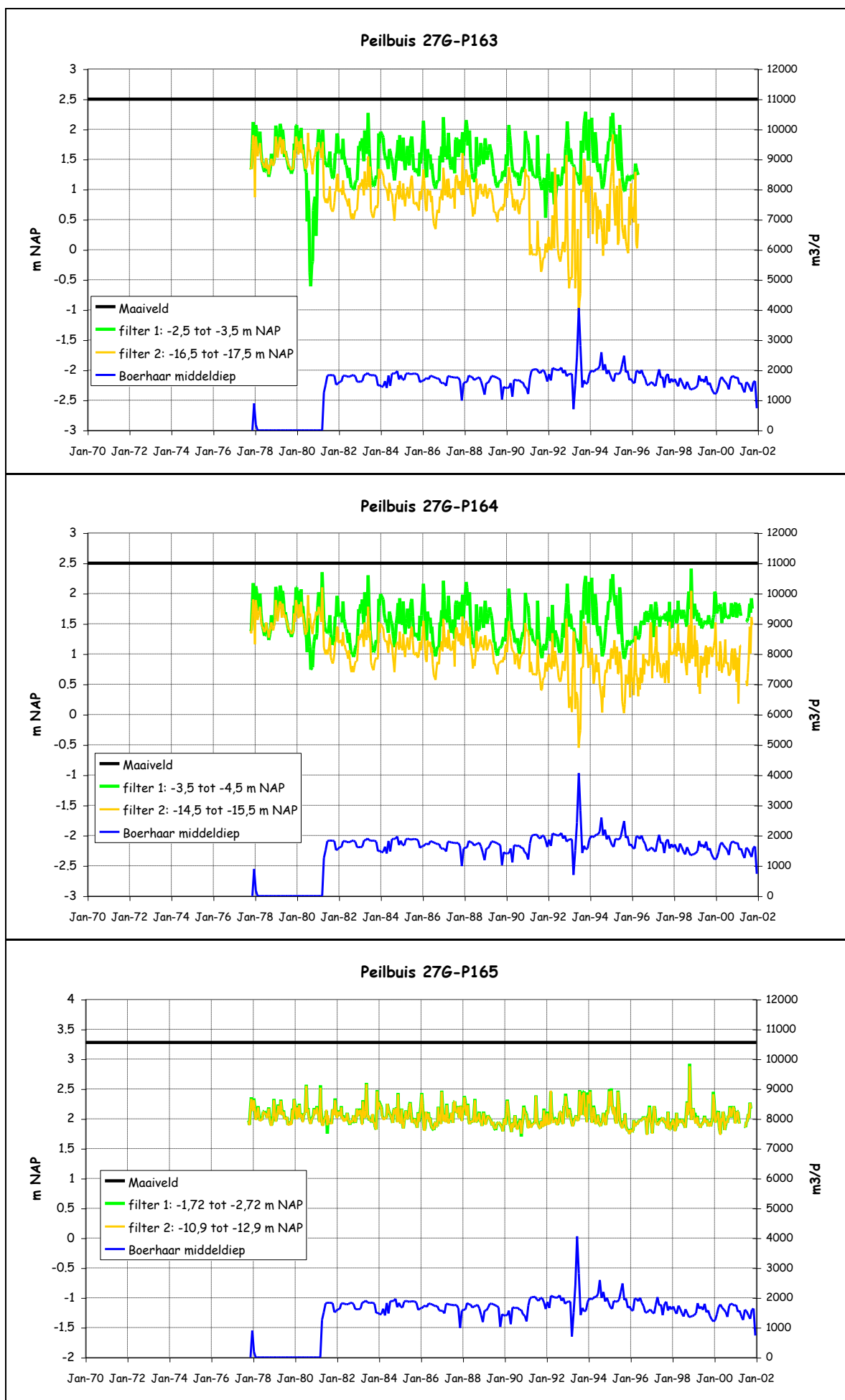


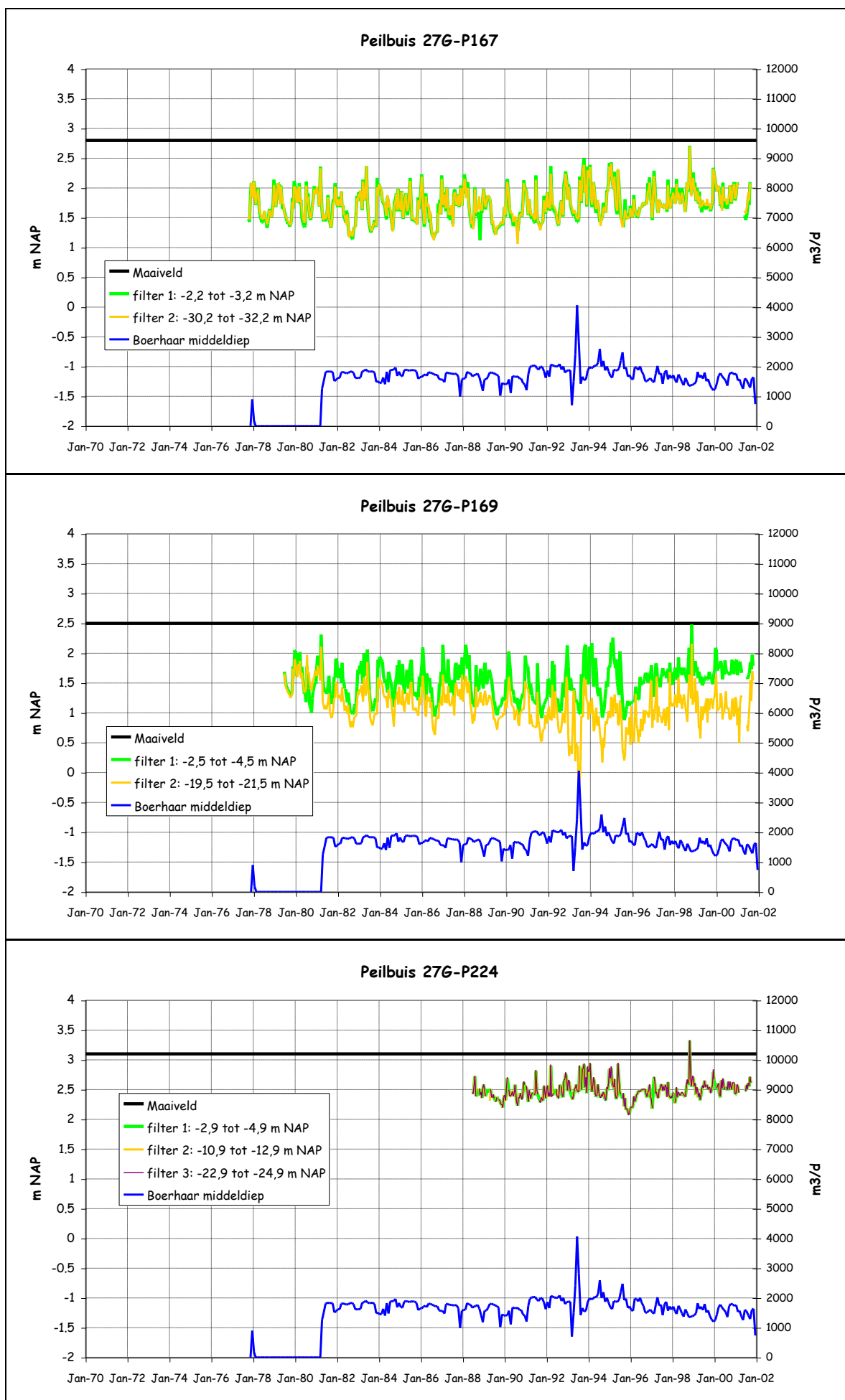


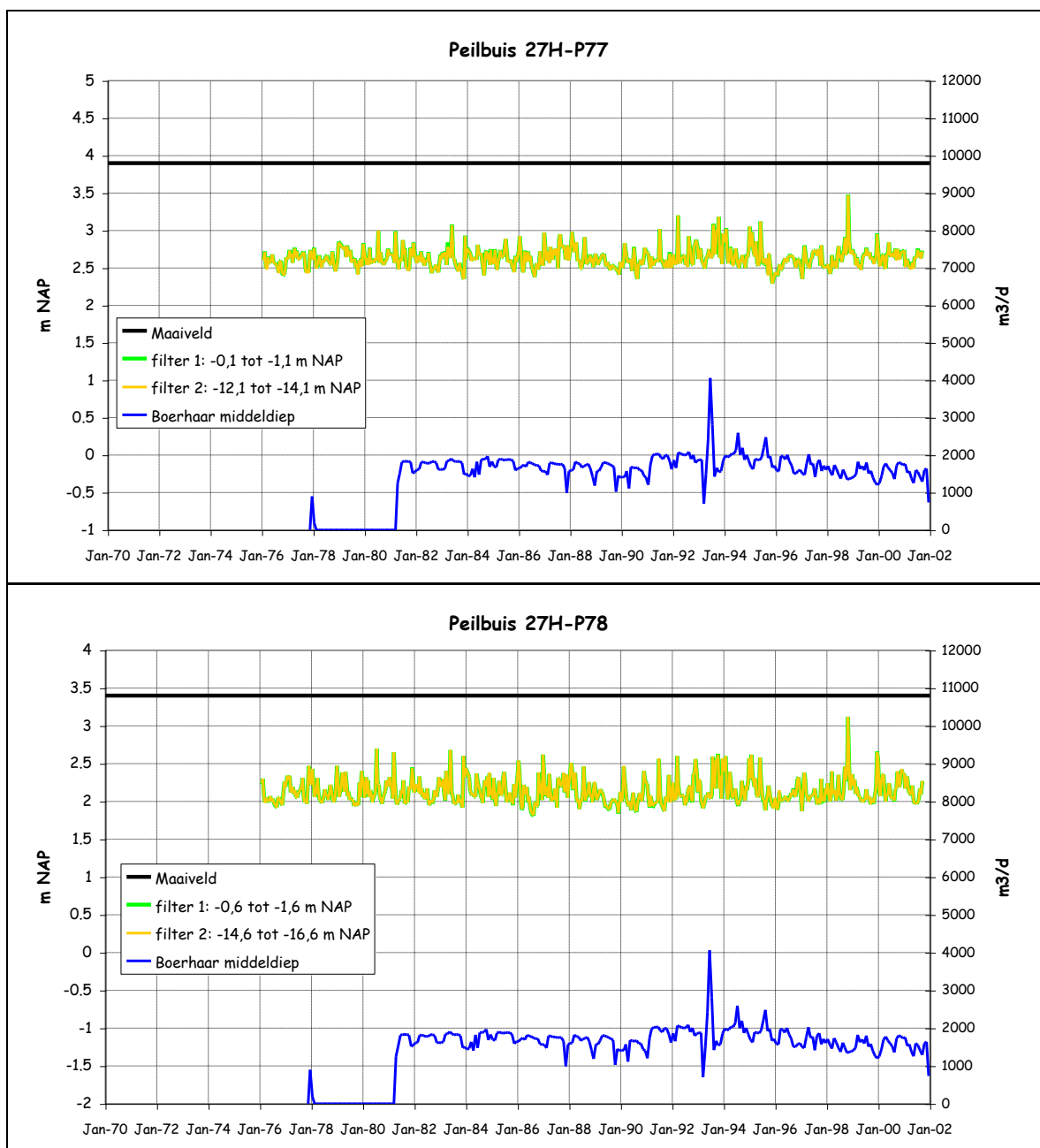












Bijlage 2. Algemene toelichting op de Box-Jenkins-methode

Aan de hand van tijdreeksanalyse volgens de Box-Jenkins-methode [Box and Jenkins, 1976], kan de tijdreeks van een variabele beschreven worden met een discreet lineair dynamisch stochastisch model. In het nu volgende geven we een beknopte uitleg van deze methode. Voor een diepgaande theoretische verhandeling wordt verwezen naar het standaardwerk [Box and Jenkins, 1976]. Voor een praktisch gerichte verhandeling wordt verwezen naar [McLeod, 1983].

Uitleg aan de hand van systeemtheorie

Het principe van de Box-Jenkins benadering kan goed worden toegelicht aan de hand van begrippen uit de systeemtheorie. Een systeem zal daartoe - enigszins intuïtief - worden omschreven als een deel van de werkelijkheid, dat via in- en uitgangssignalen wisselwerkingen vertoont met z'n omgeving. De stijghoogte in een peilbuis zullen we dan opvatten als het uitgangssignaal (hier: de uitvoerreeks) van een systeem, dat wordt aangedreven door meerdere ingangssignalen (hier: invoerreeksen of ook wel dynamische invloedsfactoren). In het geval van een (freatische) stijghoogte zullen deze laatste voornamelijk van meteorologische aard zijn. Een dergelijk systeem kan mathematisch worden uitgeschreven als:

$$Y(t) = g(G, X, t) \quad 1$$

met Y de stijghoogte, $g(\cdot)$ één of andere functie, G een verzameling modelparameters, X de verzameling dynamische invloedsfactoren en t de continue tijd.

Als we de stijghoogte empirisch willen modelleren verdient het echter aanbeveling deze te beschouwen als de uitvoerreeks van een discreet lineair dynamisch stochastisch systeem:

- discreet: omdat relevante gegevens over de stijghoogte en de dynamische invloedsfactoren meestal slechts beschikbaar zijn in de vorm van discrete tijdreeksen;
- lineair: omdat dit de minste theoretische en praktische problemen oplevert, bovendien is gebleken dat veel systemen redelijk beschreven kunnen worden met lineaire modellen;
- dynamisch: omdat de tijd een essentiële rol speelt in het gedrag van de uitvoerreeks;
- stochastisch: omdat zo'n systeem nooit exact (deterministisch) kan worden beschreven, enerzijds vanwege de benadering die is ingevoerd door de discretisatie en linearisatie, anderzijds vanwege het feit dat het onmogelijk is alle dynamische invloedsfactoren bij de beschrijving mee te nemen.

Een discreet lineair dynamisch stochastisch systeem kan mathematisch worden uitgeschreven als:

$$Y_t = f(F, X', t) + N_t \quad 2$$

met Y de stijghoogte, $f(\cdot)$ een lineaire functie, F een verzameling modelparameters, X' een deelverzameling van de dynamische invloedsfactoren, N de ruis en t de discrete tijdsindex. Omdat de algemene vorm van de Box-Jenkins modellen ook kan worden uitgeschreven als bovenstaande formule, is de Box-Jenkins-methode bij uitstek geschikt om zo'n systeem langs empirische weg te beschrijven. En omdat de methode er op is gericht het stochastische element terug te brengen tot een verschijnsel dat minimaal is en dat bekende waarschijnlijkheidswetten volgt, kunnen er uitspraken omtrent het systeem worden gedaan met minimale en kwantificeerbare onzekerheden.

Statistisch modelleren van een tijdreeks

De klassieke statistische methodologie is zelden geschikt voor een statistische modellering van tijdreeksen, omdat deze gebaseerd is op onafhankelijke waarnemingen, terwijl de waarnemingen in een tijdreeks vaak niet onafhankelijk van elkaar zijn. De belangrijkste bijdragen van Box en Jenkins tot de oplossing van dit probleem bestonden uit de formulering van een familie van statistische modellen om tijdreeksen te beschrijven en uit aanwijzingen tot een

verantwoorde modelbouw [Box and Jenkins, 1976]. Voor de modellering van een tijdreeks ontwikkelden ze twee benaderingen, namelijk univariate modellering aan de hand van een Arima-model en transfer-ruismodellering aan de hand van een transfer-ruismodel. Beide zullen in het nu volgende kort en voornamelijk intuïtief worden omschreven.

Univariaat modelleren

Bij de univariate modellering wordt uitsluitend uitgegaan van de te modelleren tijdreeks, die wordt beschouwd als de uitvoerreeks van een discreet lineair dynamisch stochastisch systeem dat wordt aangedreven door een stochastische invoerreeks. Deze laatste is onbekend en ontstaat eigenlijk pas in de modelleerfase als het modelresidu. De modellering is er dan ook op gericht dit terug te brengen tot een verschijnsel dat bekende waarschijnlijkheidswetten volgt ("witte ruis") en een minimale variantie heeft. De variantie mag in dit verband als een soort maat voor de onzekerheid van het model worden beschouwd.

Witte ruis kan worden opgevat als een volledig toevallig signaal, bestaande uit een opeenvolging van onafhankelijke trekkingen uit een normale kansverdeling, met gemiddelde nul en variantie σ_a^2 .

Het zal duidelijk zijn dat de univariate benadering nauwelijks inzicht levert in het beschouwde systeem. Het wordt wel veel toegepast om voorspellingen van een bepaalde variabele te genereren. Deze zijn dan uitsluitend gebaseerd op een statistische analyse van het gedrag van deze variabele in het verleden. Deze toepassing heeft dan ook vooral opgang gemaakt in de economie, met zijn gecompliceerde en minder inzichtelijke dynamische systemen.

Transfer-ruismodelleren

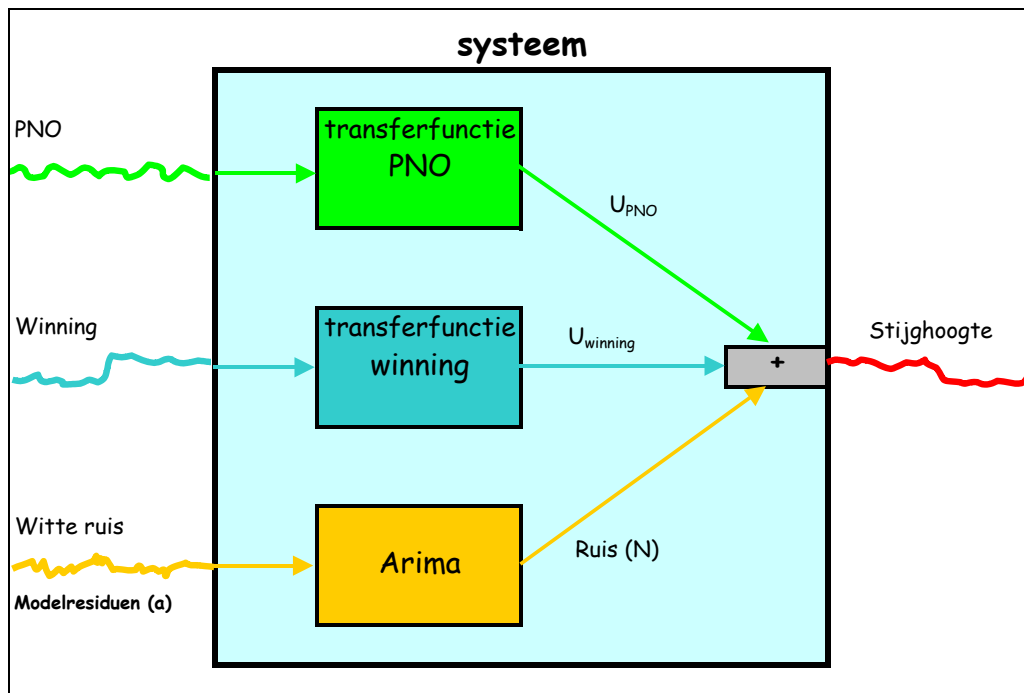
Bij de transfer-ruismodellering wordt de te modelleren tijdreeks beschouwd als de uitvoerreeks van een discreet lineair dynamisch stochastisch systeem dat wordt aangedreven door meerdere invoerreeksen, waaronder ook witte ruis. Elke invoerreeks (X_i) levert hierbij volgens een afzonderlijke lineaire transferfunctie een component (U_i) van de uitvoerreeks (Y). De resterende ruis (N) vertegenwoordigt de component die wordt geleverd door alle dynamische invloedsfactoren die niet bij de modellering zijn betrokken. Deze ruis kan op zijn beurt worden weergegeven als de uitvoerreeks van een deelsysteem, dat volgens een Arima-model (in feite ook een soort transferfunctie) wordt aangedreven door witte ruis. De verschillende componenten geven door middel van lineaire superpositie de uiteindelijk waargenomen uitvoerreeks, volgens:

$$Y_t = U_{1t} + \dots + U_{mt} + N_t \quad 3$$

Figuur b2.1 toont het principe van het transfer-ruismodel, voor het geval een stijghoogte wordt gemodelleerd als functie van het potentieel neerslagoverschot en een grondwaterwinning.

De kracht van het transfer-ruismodel is dat een groot aantal dynamische situaties beschreven kan worden met slechts een gering aantal modelparameters.

Figuur b2.1: Principe van het transfer-ruismodel van de stijghoogte, hier met het potentieel neerslagoverschot en een winning als invoerreeksen.



Ontwikkelen van een Box-Jenkins model

Het ontwikkelen van een Box-Jenkins model is - net als bij de meeste modellen - een iteratief proces. Per ronde worden drie fasen doorlopen:

- 1) identificatie van de vorm het model;
- 2) schatting van de modelparameters en
- 3) verificatie van het model.

In het nu volgende beschrijven we de drie fasen afzonderlijk, met als toepassing de ontwikkeling van een transfer-ruismodel.

Identificeren van de modelvorm

Aan de hand van diagnostieken van de relaties tussen de uitvoerreeks en de invoerreeksen, bij voorkeur aangevuld met fysisch inzicht in deze relaties, wordt de vorm van het model gepostuleerd. De diagnostieken worden geleverd door de (steekproef) kruiscorrelatiefuncties van de uitvoerreeks en elke afzonderlijke invoerreeks. Zo'n functie geeft de kruiscorrelatiecoëfficiënt, een maat voor de samenhang tussen de waarde van de invoerreeks en de uitvoerreeks k tijdseenheden later, als functie van k (de "lag"). Een kruiscorrelatie functie wordt vaak geplot weergegeven (het kruiscorrelogram), omdat dit de diagnose aanzienlijk vergemakkelijkt. Omdat het beeld van de relatie vertroebeld kan worden door de autocorrelaties binnen de reeksen, worden beide vóór het berekenen van de kruiscorrelatiefunctie door een filter gehaald, namelijk het inverse Arima-model voor de invoerreeks. Deze aanpak noemt men ook wel "prewhitening" [Box and Jenkins, 1976].

In deze identificatiefase dient tevens de vorm van het ruismodel te worden geformuleerd. Hiervoor zijn verschillende benaderingen mogelijk. Als er met grote waarschijnlijkheid van kan worden uitgegaan dat alle relevante dynamische invloedsfactoren in het transfer-ruismodel zijn opgenomen, kan het ruismodel worden geformuleerd als een stationair model. Zo'n model beschrijft een tijdreeks die voldoet aan een bepaald statistisch evenwicht en in feite met een constante spreiding rond een constante waarde schommelt. Als er daarentegen (vermoedelijk) relevante dynamische invloedsfactoren ontbreken, kan het ruismodel in eerste instantie worden geformuleerd als het Arima-model voor de uitvoerreeks. In alle ge-

vallen zal de juistheid of onjuistheid van de formulering van het ruismodel blijken in de verificatiefase.

Schatten van de modelparameters

De parameters van het geïdentificeerde model worden geschat volgens een optimalisatieprocedure, waarbij de som van de kwadraten van de residuën - een functie van de modelparameters - wordt geminimaliseerd. Dit noemt men ook wel de kleinste kwadratenmethode.

Verifiëren van het model

In de verificatiefase wordt nagegaan of het model de tijdreeks adequaat beschrijft en of voldaan wordt aan alle vooronderstellingen die aan het model ten grondslag liggen (residuën normaal verdeeld, onafhankelijk van elkaar en zonder relatie met de afzonderlijke invoerreeksen). Hierbij wordt gebruik gemaakt van diagnostieken van de residuën, zoals een plot, een histogram en enkele (steekproef-)correlatiefuncties, alsmede de schatting van de variantie van de residuën, de statistische significantie van de modelparameters en de correlatiematrix van de parameterschatters. Bij een onbevredigende diagnose kan een betere modelvorm geformuleerd worden aan de hand van de geconstateerde discrepanties. Het ontwikkelproces vervolgt dan weer met de schatting van de modelparameters.

Betrouwbaarheidsinterval van een geschatte parameter

De schatting van de parameter van een transfer-ruismodel kan opgevat worden als een waarde van een schatter, een stochastische (of toevals-)variabele met een bepaalde kansverdeling. Een schatting gaat gepaard met een maat voor de spreiding van deze kansverdeling: de standaardafwijking (de wortel uit de variantie). Deze standaardafwijking van een schatter wordt ook wel als standaardfout aangeduid. Als voldaan wordt aan de vooronderstellingen die ten grondslag liggen aan het transfermodel, heeft een schatter een normale kansverdeling waarvan het gemiddelde overeenkomt met de echte waarde van de te schatten parameter. Aan de hand van de schatting en de standaardfout kan dan het interval worden aangegeven waarbinnen de echte waarde van de parameter zal liggen met een bepaalde betrouwbaarheid (meestal wordt hiervoor 95% genomen). Dit noemt men het (95%) betrouwbaarheidsinterval. Als dit interval de waarde 0 bevat, is de modelparameter statistisch niet significant.

Formuleren van een transfer-ruismodel

De Box-Jenkins formulering van de dynamische relatie tussen een invoerreeks en een uitvoerreeks van een systeem is afgeleid van de algemene weergave van een discreet lineair dynamisch systeem met een lineaire differentie vergelijking. Voor een systeem met één invoerreeks geldt bijvoorbeeld de volgende differentievergelijking:

$$(1 + C_1 \Delta + \dots + C_r \Delta^r) Z_t = g(1 + D_1 \Delta + \dots + D_s \Delta^s) X_t \quad 4$$

met Z de afwijking van de uitvoerreeks ten opzichte van zijn gemiddelde, X de afwijking van de invoerreeks ten opzichte van zijn gemiddelde, t de discrete tijdsindex, $C_1 \dots C_r$ en $D_1 \dots D_s$ modelparameters, ∇ de differentie-operator ($\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$) en g de evenwichtsrelatie tussen Z en X (Engels: "steady-state gain"). De evenwichtsrelatie is een belangrijke karakteristiek van een dynamische relatie. Het is in feite de waarde die de uitvoerreeks aan zal nemen als de invoerreeks continu op de waarde +1 wordt gehouden. Of, in het geval van de modellering van de stijghoogte aan de hand van een grondwaterwinning, de stationaire verlaging van de stijghoogte bij een eenheid van die grondwaterwinning.

De oplossing van bovenstaande differentievergelijking kan worden uitgeschreven als:

$$Z_t = \sum_{u=0}^{\infty} v_u \cdot X_{t-u}$$

$$= v_0 X_t + v_1 X_{t-1} + v_2 X_{t-2} + \dots \quad 5$$

$$= (v_0 + v_1 B + v_2 B^2 + \dots) X_t$$

met $v_0, v_1, v_2, \dots$ de impuls-respons gewichten (die samen de discrete impuls-respons functie vormen) en B de backshift-operator ($BX_t = X_{t-1}$, let wel: B is geen modelparameter, maar slechts een operator die dient om de notatie te vereenvoudigen!). Deze impuls-respons functie vertegenwoordigt de dynamica van het systeem en beschrijft de reactie van de uitvoerreeks Z op een eenheidspuls in de invoerreeks X . En als X bestaat uit een opeenvolging van verschillende pulsen, wordt Z beschreven als de som van door X geschaalde impuls-respons gewichten.

In Box-Jenkins notatie wordt een differentievergelijking met één invoerreeks uitgeschreven als:

$$(1 - \delta_1 B - \dots - \delta_r B^r) Z_t = (\omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s) X_t \quad 6$$

met $\delta_1, \dots, \delta_r$ de autoregressieve parameters, $\omega_0, \dots, \omega_s$ de moving-average parameters en B de backshift-operator (hier gebruikt als substituuut voor ∇ , aangezien $B=1-\nabla$). Dit noemt men de transferfunctie van de orde (r,s) .

In nóg compactere vorm wordt dit ook wel als volgt uitgeschreven:

$$Z_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_t \quad 7$$

met $\omega(B)$ de moving-average operator voor X , volgens:

$$\omega(B) X_t = \omega_0 X_t - \omega_1 X_{t-1} - \dots - \omega_s X_{t-s} \quad 8$$

en $\delta(B)$ de autoregressieve operator, die inwerkt op Z , volgens:

$$\delta(B) Z_t = Z_t - \delta_1 Z_{t-1} - \dots - \delta_r Z_{t-r} \quad 9$$

Het Box-Jenkins transfer-ruismodel is een model om een tijdreeks te beschrijven als een som van transferfuncties van de relevante dynamische invloedsfactoren, aangevuld met een ruis-term. In deze zin vormt het een discreet lineair dynamisch stochastisch model. In compacte vorm kan het transfer-ruismodel als volgt worden uitgeschreven:

$$Z_t = \frac{\omega_1(B)}{\delta_1(B)} X_{1t} + \dots + \frac{\omega_m(B)}{\delta_m(B)} X_{mt} + N_t \quad 10$$

met $X_1, \dots, X_m$ de dynamische invloedsfactoren en N de ruis.

De tijdreeks van de ruis vertegenwoordigt de invloed van alle invloedsfactoren die niet in het model zijn opgenomen. Over het algemeen bevat zo'n reeks nog regelmatigigheden die beschreven kunnen worden met een univariaat model (ook wel Arima-model genaamd).

Het univariate model

Een univariaat model beschrijft een variabele als lineaire functie van voorgaande waarden van deze variabele en het modelresidu. De algemene vorm van een univariaat model is:

$$\phi(B)\Phi(B^S)(\nabla^d \nabla_S^D Z_t^\lambda - c) = \theta(B)\Theta(B^S)a_t \quad 11$$

met Z de variabele, a het modelresidu, t de tijdsindex, ∇ de differentie operator ($\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$), d het aantal differenties, S de seizoensperiode (met dagelijkse waarnemingen en een weekcyclus is deze bijvoorbeeld 7), ∇_S de seizoensdifferentie-operator ($\nabla_S Z_t = Z_t - Z_{t-S}$), D het aantal seizoensdifferenties, λ de transformatieparameter ($\lambda=1$ als Z normaal verdeeld is) en c een constante.

Verder bevat deze formulering de volgende operatoren:

- $\phi(B)$ de autoregressieve operator, volgens:

$$\phi(B)Z_t = Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \dots - \phi_p Z_{t-p} \quad 12$$

met $\phi_1 \dots \phi_p$ de autoregressieve parameters;

- $\Phi(B^S)$ de autoregressieve seizoensoperator, volgens:

$$\Phi(B^S)Z_t = Z_t - \Phi_1 Z_{t-S} - \dots - \Phi_P Z_{t-P \cdot S} \quad 13$$

met $\Phi_1 \dots \Phi_P$ de autoregressieve seizoenparameters;

- $\theta(B)$ de moving-average operator, volgens:

$$\theta(B)a_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad 14$$

met $\theta_1 \dots \theta_q$ de moving-average parameters;

- en $\Theta(B^S)$ de moving-average seizoensoperator, volgens:

$$\Theta(B^S)a_t = a_t - \Theta_1 a_{t-S} - \dots - \Theta_Q a_{t-Q \cdot S} \quad 15$$

met $\Theta_1 \dots \Theta_Q$ de moving-average seizoenparameters.

Bijlage 3. Details van de ontwikkelde transfer-ruismodellen

Toelichting transferfunctie (zie ook bijlage 2)

s : aantal ω (moving average parameters);

r : aantal δ (autoregressieve parameters);

Verand: geschatte stationaire verandering van de stijghoogte per eenheid van X ;

St fout: de standaardfout van deze geschatte verandering.

Toelichting ruismodel (zie ook bijlage 2)

p : aantal ϕ (autoregressieve parameters);

d : aantal differenties (∇);

q : aantal θ (moving average parameters);

P : aantal Φ (autoregressieve seizoensparameters);

D : aantal seizoensdifferenties (∇_s);

Q : aantal Θ (moving average seizoensparameters);

c : constante (m)

Toelichting pasvorm

stafw res: standaardafwijking van de modelfout (m).

Peilbuis	Filt	Xcoor m	Ycoor m	Wvp	Afstand km	PNO				Jssel				Boerhaar				Zwaartepunt				Wap-zomer				Wap-winter				Wap-intermediair				ruismodel				pasvorm	
						Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	s, r	Verand		St fout	p,d,q	P,D,Q	c (m)	m			
						m/m(m/t)	o/m	m/L(m)		m	m	m		m	m	m		m	m	m		m	m	m		m	m	m		m	m	m					m	m	m
27E-P174	1	207630	488320	ondiep	1.75	5,0	0,09	0,01	0,0	0,09	0,02	2,0	-0,006	0,01				0,0	0,03	0,03	0,0	-0,01	0,03	0,0	0,03	0,03	1,0,1	1,0,0	1,20	0,080									
27E-P174	2	207630	488320	mid	1.75	5,0	0,09	0,01	0,0	0,09	0,02	2,0	-0,008	0,01				0,0	0,04	0,03	0,0	-0,01	0,03	0,0	0,03	0,03	1,0,1	1,0,0	1,19	0,080									
27E-P175	1	209240	488120	ondiep	1.93	5,0	0,08	0,01	0,0	0,08	0,02	2,0	0,0002	0,01				0,0	0,05	0,03	0,0	-0,04	0,02	0,0	0,01	0,02	1,0,1	1,0,0	1,33	0,071									
27E-P175	2	209240	488120	mid	1.93	5,0	0,08	0,01	0,0	0,08	0,02	2,0	0,0004	0,01				0,0	0,06	0,03	0,0	-0,03	0,02	0,0	0,01	0,02	1,0,2	1,0,0	1,32	0,071									
27G-P109	1	205610	482260	ondiep	4.98	3,1	0,30	0,03	0,0	0,22	0,02	2,0	-0,004	0,02				0,0	0,03	0,05	0,0	0,00	0,05	0,0	0,04	0,05	1,0,1	1,0,0	2,59	0,092									
27G-P109	3	205610	482260	mid	4.98	1,1	0,29	0,03	0,0	0,23	0,02	2,0	0,01	0,02				0,0	0,04	0,05	0,0	0,01	0,05	0,0	0,04	0,05	1,0,1	1,0,0	2,46	0,072									
27G-P143	1	209190	486890	ondiep	1.19	3,1	0,20	0,02	0,0	0,12	0,03	2,0	-0,03	0,01				0,0	0,07	0,03	0,0	-0,05	0,03	0,0	0,02	0,03	1,0,0	1,0,0	1,71	0,091									
27G-P143	2	209190	486890	mid	1.19	1,1	0,13	0,01	0,0	0,07	0,02	2,0	-0,04	0,01				0,0	0,10	0,02	0,0	-0,04	0,02	0,0	0,03	0,02	1,0,0	1,0,0	1,65	0,066									
27G-P144	1	208510	487390	ondiep	0.91	1,1	0,20	0,02	0,0	0,14	0,02	2,0	-0,05	0,01				0,0	0,15	0,03	0,0	0,00	0,03	0,0	0,05	0,03	1,0,0	1,0,0	1,43	0,083									
27G-P144	2	208510	487390	mid	0.91	1,1	0,14	0,02	0,0	0,09	0,02	2,0	-0,05	0,01				0,0	0,09	0,03	0,0	-0,05	0,02	0,0	0,02	0,02	1,0,0	1,0,0	1,34	0,072									
27G-P145	1	207690	487210	ondiep	0.69	5,0	0,06	0,01	0,0	0,08	0,02	2,0	-0,01	0,01				0,0	0,07	0,03	0,0	-0,02	0,03	0,0	0,03	0,03	1,0,0	1,0,0	1,18	0,077									
27G-P145	2	207690	487210	mid	0.69	5,0	0,07	0,01	0,0	0,09	0,02	2,0	-0,02	0,01				0,0	0,08	0,03	0,0	-0,02	0,03	0,0	0,03	0,03	1,0,0	1,0,0	1,20	0,072									
27G-P146	1	207930	486460	ondiep	0.19	3,1	0,25	0,02	0,0	0,16	0,04	2,0	0,02	0,02	1,0	0,06	0,02										1,0,0	0,0,0	1,55	0,134	1)								
27G-P146	2	207930	486460	mid	0.19	2,1	0,20	0,04	0,0	0,12	0,05	2,0	-0,22	0,02	1,0	0,23	0,02										1,0,3	0,0,0	1,05	0,151									
27G-P147	1	207920	485570	ondiep	1.05	2,1	0,29	0,03	0,0	0,17	0,03	2,0	-0,05	0,02				0,0	0,24	0,04	0,0	0,01	0,04	0,0	0,10	0,04	1,0,0	1,0,0	1,88	0,105									
27G-P147	2	207920	485570	mid	1.05	2,1	0,29	0,03	0,0	0,18	0,03	2,0	-0,05	0,02				0,0	0,23	0,04	0,0	0,00	0,04	0,0	0,10	0,04	1,0,0	1,0,0	1,88	0,104									
27G-P148	1	207300	485910	ondiep	1.02	2,1	0,16	0,02	0,0	0,14	0,03	2,0	-0,04	0,01				0,0	0,05	0,03	0,0	-0,01	0,03	0,0	0,01	0,03	1,0,0	1,0,0	1,62	0,094									
27G-P149	1	207380	484700	ondiep	2.02	2,1	0,35	0,03	0,0	0,20	0,03	2,0	-0,01	0,02				0,0	0,13	0,04	0,0	0,04	0,04	0,0	0,09	0,04	1,0,0	1,0,0	2,01	0,108									
27G-P149	2	207380	484700	mid	2.02	2,1	0,28	0,02	0,0	0,17	0,03	2,0	-0,01	0,01				0,0	0,18	0,03	0,0	0,01	0,03	0,0	0,09	0,03	1,0,1	1,0,0	1,94	0,090									
27G-P150	1	208420	485130	ondiep	1.53	1,1	0,37	0,05	0,0	0,20	0,03	2,0	-0,03	0,03				0,0	0,20	0,06	0,0	-0,13	0,06	0,0	0,02	0,06	1,0,0	1,0,0	2,21	0,127									
27G-P150	2	208420	485130	mid	1.53	1,1	0,34	0,04	0,0	0,19	0,03	2,0	-0,03	0,02				0,0	0,21	0,05	0,0	-0,03	0,05	0,0	0,07	0,04	1,0,0	1,0,0	2,16	0,109									
27G-P151	1	209170	484840	ondiep	2.10	1,1	0,35	0,04	0,0	0,18	0,03	2,0	-0,03	0,02				0,0	0,07	0,05	0,0	-0,19	0,05	0,0	-0,08	0,05	1,0,0	1,0,0	2,50	0,104									
27G-P151	2	209170	484840	mid	2.10	1,1	0,36	0,04	0,0	0,19	0,03	2,0	-0,03	0,02				0,0	0,13	0,05	0,0	-0,09	0,05	0,0	0,01	0,05	1,0,0	1,0,0	2,51	0,104									
27G-P152	1	209160	485730	ondiep	1.43	2,1	0,26	0,03	0,0	0,14	0,03	2,0	-0,04	0,02				0,0	0,21	0,04	0,0	-0,02	0,04	0,0	0,08	0,04	1,0,0	1,0,0	2,27	0,093									
27G-P152	2	209160	485730	mid	1.43	2,1	0,27	0,03	0,0	0,18	0,03	2,0	-0,04	0,02				0,0	0,19	0,04	0,0	-0,05	0,04	0,0	0,07	0,04	1,0,1	1,0,0	2,18	0,089									
27G-P153	1	206550	486830	ondiep	1.50	3,1	0,10	0,02	0,0	0,05	0,02	2,0	-0,04	0,01				0,0	0,05	0,03	0,0	0,01	0,03	0,0	0,05	0,03	1,0,0	1,1,3	1,37	0,079									
27G-P160	1	207960	486350	ondiep	0.27	2,1	0,28	0,03	0,0	0,19	0,03	2,0	-0,11	0,03	1,0	-0,01	0,05	0,0	0,34	0,06	0,0	0,09	0,05	0,0	0,21	0,05	1,0,1	1,0,0	1,54	0,110									
27G-P160	2	207960	486350	mid	0.27	1,1	0,24	0,04	0,0	0,14	0,03	2,0	-0,24	0,03	1,0	0,03	0,05	0,0	0,30	0,06	0,0	0,10	0,05	0,0	0,17	0,05	1,0,0	0,0,0	1,30	0,113									
27G-P161	1	207950	486420	ondiep	0.21	2,1	0,27	0,03	0,0	0,19	0,04	2,0	-0,09	0,02				0,0	0,32	0,04	0,0	0,10	0,04	0,0	0,19	0,04	1,0,0	0,0,0	1,55	0,118	1)								
27G-P161	2	207950	486420	mid	0.21	1,1	0,21	0,04	0,0	0,13	0,04	2,0	-0,29	0,02	1,0	0,08	0,03	0,0	0,29	0,05	0,0	0,09	0,05	0,0	0,16	0,05	1,0,0	0,0,0	1,13	0,128									
27G-P162	1	208000	486540	ondiep	0.08	2,1	0,26	0,05	0,0	0,19	0,06	2,0	-0,03	0,03	1,0	0,00	0,05										1,0,0	0,0,0	1,46	0,181	1)								
27G-P162	2	208000	486540	mid	0.08	0,1	0,21	0,04	0,0	0,15	0,06	2,0	-0,45	0,02	1,0	0,10	0,04										1,0,1	0,0,0	0,84	0,175									
27G-P163	1	208060	486540	ondiep	0.08	2,1	0,28	0,04	0,0	0,20	0,05	2,0	-0,04	0,02	1,0	0,05	0,02										1,0,0	0,0,0	1,49	0,154	1)								
27G-P163	2	208060	486540	mid	0.08	2,1	0,18	0,04	0,0	0,19	0,06	2,0	-0,47	0,02	1,0	0,31	0,03										1,0,1	1,0,2	0,90	0,194									
27G-P164	1	208110	486580	ondiep	0.08	2,1	0,27	0,03	0,0	0,19	0,03	2,0	-0,07	0,02	1,0	0,01	0,02	0,0	0,25	0,04	0,0	-0,02	0,04	0,0	0,11	0,04	1,0,0	0,0,0	1,54	0,114	1)								
27G-P164	2	208110	486580	mid	0.08	2,1	0,16	0,03	0,0	0,10	0,04	2,0	-0,43	0,03	1,0	0,22	0,03	0,0	0,09	0,06	0,0	-0,03	0,05	0,0	0,09	0,05	1,0,0	0,0,0	1,06	0,149									
27G-P165	1	209980	486520	ondiep	1.95	5,0	0,10	0,01	0,0	0,13	0,02	2,0	-0,005	0,01				0,0	-0,01	0,02	0,0	-0,10	0,02	0,0	-0,04	0,02	1,0,1	1,0,0	2,04	0,071									
27G-P165	2	209980	486520	mid	1.95	5,0	0,09	0,01	0,0	0,12	0,02	2,0	-0,003	0,01				0,0	-0,01	0,02	0,0	-0,10	0,02	0,0	-0,04	0,02	1,0,1	1,0,0	2,03	0,069									
27G-P167	1	207450	485490	ondiep	1.27	0,1	0,23	0,02	0,0	0,11	0,03	2,0	0,01	0,02				0,0	0,19	0,04	0,0																		