

32/uu6(6831)
2^eex

Hydrologische systeemanalyse "De Hilver"

Deel 1: Meetprogramma

J.G. te Beest
P.J.T. van Bakel

BIBLIOTHEEK "DE HAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 683.1

Staring Centrum, Wageningen, 1999

970670/970679

REFERAAT

G. te Beest en P.J.T. van Bakel, 1999. *Hydrologische systeemanalyse "De Hilver"; deel 1: Meetprogramma*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 683.1. 60 blz.; 12 fig.; 1 tab.; 4 kaarten.; 11 bijl.

Doel van landinrichtingsplan "De Hilver" is om in de beekdalen binnen de EHS een verhoging van de grondwaterstanden te realiseren met behoud of versterking van de kwelsituatie en om buiten de EHS zo mogelijk een landbouwkundig optimale situatie te creëren. In deze studie wordt de effectiviteit van het landinrichtingsplan beoordeeld. In dit deelrapport wordt verslag gedaan van het uitgevoerde meetprogramma. Dit meetprogramma geeft informatie over het afvoerverloop van een aantal waterlopen, de ondiepe en diepere grondwaterpotentialen en de relatie tussen de grondwaterstand en de peilen in de waterlopen.

Trefwoorden: afvoerverloop, De Hilver, waterhuishouding

ISSN 0927-4499



© 1999 Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Staring Centrum.

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

ALTERRA is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie gaat in op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Gebiedsbeschrijving en -begrenzing	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Geologie	13
2.3 Geohydrologie	13
2.4 Bodem en bodemgebruik	14
2.5 Topografie	14
2.6 Afwateringsstructuur	14
3 Meetprogramma	17
3.1 Doelstelling meetprogramma	17
3.2 Uitvoering metingen	17
3.2.1 Oppervlaktewatermetingen	18
3.2.2 Grondwatermetingen	19
4 Meetresultaten	21
4.1 Meteogegevens	21
4.2 Grondwaterstijghoogten	21
4.3 Oppervlaktewaterpeilen en debieten	26
4.4 Metingen betreffende de kwelintensiteit vanuit het Wilhelminakanaal	32
5 Interpretatie meetresultaten	33
5.1 Foutenanalyse	33
5.2 Waterbalans	34
5.3 Dwarsraaien	36
6 Conclusies	37
Literatuur	39
Bijlagen	
1 Raai 1	41
2 Raai 2	43
3 Raai 3	45
4 Raai 4a	47
5 Raai 4b	49
6 Raai 5a	51
7 Raai 5b	53
8 Raai 6	55
9 Raai 7	57
10 Raai 8	59
11 Technische omschrijving van meetpunten De Hilver geplaatst door DLO-Staring Centrum	61

Woord vooraf

In opdracht van Dienst Landelijk Gebied, de provincie Noord-Brabant en Waterschap De Dommel zijn de effecten van het Landinrichtingsplan De Hilver met behulp van modellen gekwantificeerd. Met dit onderzoek wordt de effectiviteit van het plan beoordeeld. Indien noodzakelijk kunnen op basis van de resultaten aanvullende maatregelen worden gedefinieerd. Het onderzoek is in zes fasen uitgevoerd:

- Meetprogramma
- Simuleren van de bestaande regionale waterhuishouding
- Berekenen van de effecten van ingrepen op de waterhuishouding
- Uitvoeren van een kwantitatieve hydrologische systeemanalyse
- Berekenen van de effecten van ingrepen op de uitspoeling van N en P
- Vertalen naar ecologische effecten

Iedere fase is afzonderlijk gerapporteerd. Dit rapport beschrijft de eerste fase: het meetprogramma

Voor het meetprogramma is een meetplan opgesteld om voor een voldoende (minimaal 1 jaar) lange periode veldgegevens beschikbaar te hebben voor de modellering. Tevens was in eerder uitgevoerde studies gebleken dat in het studiegebied te weinig meetgegevens beschikbaar zijn over de afvoeren en de grondwaterstanden om de resultaten van de studie te kunnen toetsen. Het meetplan diende informatie te verstrekken over:

- Het afvoerverloop van de verschillende beken
- De ondiepe en diepere grondwaterpotentialen
- De relatie tussen de grondwaterstand en de peilen in de beken

Het onderzoek is begeleid door een werkgroep bestaande uit:

G.A. Schouten (vz. vanaf 1-1-1998)	Dienst Landelijk Gebied
H. Vissers (vz. tot 1-1-1998)	Dienst Landelijk Gebied
F. Helmich	Provincie Noord-Brabant
M. van Betuw	Waterschap De Dommel
J. van Bakel	DLO-Staring Centrum

Samenvatting

Als onderdeel van het uitvoeren van een waterkwantiteits/waterkwaliteitsmodellering in het landinrichtingsplan "De Hilver" is door het DLO-Staring Centrum een meetprogramma uitgevoerd. Voor dit meetprogramma is een meetplan opgesteld en uitgevoerd. Dit meetplan liep van april 1996 t/m maart 1997.

Een onderdeel van het meetplan was het bepalen van een afvoerverloop van de verschillende waterlopen. Hiervoor zijn bij een viertal stuwen metingen uitgevoerd voor het berekenen van het debiet van de stuw. Hiervoor is meetapparatuur geplaatst waarmee continue-metingen gedaan zijn voor het bepalen van het afvoerverloop. Ook zijn gegevens verzameld van stuwen waarbij reeds debietmetingen worden uitgevoerd door het waterschap.

Het tweede onderdeel van het meetplan was het verkrijgen van gegevens over de ondiepe en diepere grondwaterpotentialen. Als aanvulling op de gegevens over grondwaterstanden uit het OLGA-bestand is een aantal boringen uitgevoerd tot in het eerste watervoerend pakket. De in deze boringen geplaatste buizen zijn opgenomen in het meetplan.

Als laatste onderdeel zijn voor het bepalen van een relatie tussen de grondwaterstand en de peilen in de waterlopen, loodrecht op een aantal waterlopen, grondwaterstandsbuizen geplaatst. Deze buizen zijn eveneens opgenomen in het meetplan.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de uitgevoerde metingen.

1 Inleiding

Ten behoeve van de nadere invulling van verschillende landinrichtingsmaatregelen binnen het landinrichtingsproject "De Hilver", heeft LBL-Noord-Brabant, SC-DLO gevraagd om een eco-hydrologisch onderzoek te doen naar de water- en stoffenhuishouding van het herinrichtingsgebied en in het bijzonder de daarin voorkomende beekdalen in beeld te brengen.

Het doel van het onderzoek (onderzoeksvoorstel LBL, 13 maart 1995) is:

- het berekenen van het rendement van verschillende vernattingsmaatregelen op de grondwaterstand in de beekdalen en de afvoerdynamiek van de beken
- het vaststellen van de bijdrage van kwel en regenwater in de vernatting
- het berekenen van de effecten van de vernattingsmaatregelen buiten de Ecologische Hoofdstructuur (EHS-gebieden)
- het vaststellen van verschuivingen in de stoffenhuishouding ten gevolge van vernattingsmaatregelen
- het vaststellen van de relatie tussen vegetatieontwikkeling in de beekdalen en de toekomstige water- en stoffenhuishouding.

Het onderzoek richt zich op het locale en subregionale niveau.

Het onderzoek bestaat uit het opzetten en uitvoeren van een hydrologisch meetplan en het uitvoeren van een waterkwantiteits/-waterkwaliteitsmodellering in aansluiting op een reeds door het SC-DLO uitgevoerde studie in het Beerze-Reusel-gebied.

Aangezien het voor de modellering van groot belang is dat over een voldoende lange periode (minimaal één jaar) veldgegevens beschikbaar zijn is een meetplan uitgevoerd. Het meetplan zal tijdens en na het onderzoek dienst doen als monitoringsprogramma teneinde het effect van uitgevoerde maatregelen daadwerkelijk te kunnen toetsen.

Dit rapport beschrijft de opzet, de uitvoering en de resultaten van het meetplan.

2 Gebiedsbeschrijving en -begrenzing

2.1 Algemeen

Het gebied omvat globaal het stroomgebied van de Reusel, het Spruitenstroompje, de Roodloop en de Rosep. Het grootste deel van de beekdalen maakt deel uit van de ecologische hoofdstructuur (EHS) waar het onderzoek zich primair op richt. Het EHS-gebied omvat ca. 800 ha, het totale stroomgebied omvat ca. 15.000 ha.

2.2 Geologie

De geologie van het gebied wordt gedomineerd door de tektoniek die langs de oost-west voorkomende Feldbiss-breuk heeft plaatsgevonden. Dit breuksysteem verdeelt het gebied in een hoog gedeelte, onderdeel van het Kempisch plateau in het zuiden en een relatief laag gebied in het noorden dat onderdeel uitmaakt van de Centrale Slenk.

De bovenste 10-20 meters van de bodem wordt gevormd door de zgn. Nuenengroep die bestaat uit fijnzandig materiaal afgewisseld met leem en veenlaagjes. In de regel wordt deze afzetting begrensd door een afsluitend kleipakket van enkele tientallen meters die wordt gevormd door de Tegelen Formatie en/of de Formatie van Kedichem. In het noorden komt vervolgens één watervoerend pakket voor tot aan de hydrologische basis (Formatie van Oosterhout/Breda). In het zuidelijke slenkgedeelte komt een afwisseling van 2-3 watervoerende/waterscheidende lagen voor.

Een uitgebreide beschrijving van het geologisch en het geohydrologisch systeem is beschreven in "Hydrologische schematisatie topsysteem Hilver" (Weijers, 1997).

2.3 Geohydrologie

De stromingsrichting van het grondwater is voornamelijk zuid-noordwaarts gericht. Ter hoogte van de breuksystemen verandert het isohypsenpatroon van relatief stijl naar vlak. Dit laatste is typisch voor het deel van het studiegebied dat in de slenk te vinden is. De overgang vindt globaal plaats ter hoogte van de plaats waar het Spruitenstroompje en de Reusel het Wilhelminakanaal kruisen. De invloed van het hoofdafwateringssysteem is alleen merkbaar in het isohypsenpatroon van het 1e en 2e watervoerend pakket. Met name de werking van de Reusel blijkt een intermediair karakter te hebben, waarbij in de zomer infiltratie en in de winter drainage plaatsvindt. Het Spruitenstroompje is voor een belangrijk gedeelte altijd drainerend

2.4 Bodem en bodemgebruik

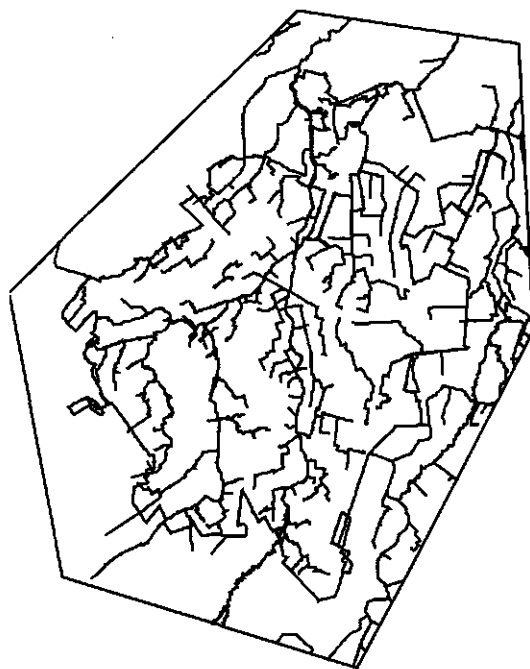
Voor de beschrijving van de bodemopbouw en het bodemgebruik wordt in dit rapport niet nader ingegaan. In deelrapport 2 "Simulatie van de regionale waterhuishouding" (van der Bolt e.a., 1999) worden deze twee parameters nader omschreven als input voor het model.

2.5 Topografie

Ook voor de beschrijving van de topografie wordt verwezen naar deelrapport 2 "Simulatie van de regionale waterhuishouding" (van der Bolt e.a., 1999). Er is een digitaal terreinmodel (DTM) ontwikkeld als input voor de topografie van het onderzoeksgebied.

2.6 Afwateringsstructuur

In het gebied zorgen een aantal al dan niet gekanaliseerde natuurlijke waterlopen voor de afwatering. In het westelijk deel van het stroomgebied vormt het Spruitenstroompje de hoofdafwatering waarop o.a. de Roodloop afwatert, in het oostelijk deel vormt de Reusel de hoofdafwatering. Beide watergangen kruisen ten noorden van Hilvarenbeek, het Wilhelminakanaal. Daarna vloeien de Reusel en het Spruitenstroompje samen in een verzamelleiding die via de Esschestroom uitkomt in de Dommel. Het gebied kent een min of meer boomvormige afwateringsstructuur



Kaart 1. Afwateringssysteem van het onderzoeksgebied

waarin nauwelijks sprake is van wateraanvoer en waar het oppervlaktewaterverhang (evenals het maaiveldverloop) relatief groot is. De Rosep vormt een afzonderlijke afwateringsstructuur in het oostelijk deel van de benedenloop. Deze voert water af uit het natuurreservaat "Kampina" en het zuidelijker gelegen landbouwgebiedje. Op kaart 1 is het afwateringssysteem van het onderzoekgebied weergegeven.

3 Meetprogramma

3.1 Doelstelling meetprogramma

Tijdens de reeds eerder door het SC-DLO uitgevoerde studie in het Beerze-Reuselgebied is gebleken dat er in het gehele gebied te weinig meetgegevens beschikbaar zijn over de afvoeren en de grondwaterstanden/diepere potentialen om de resultaten van de studie te kunnen toetsen. Om meer calibratiemateriaal beschikbaar te hebben voor de modelstudie is een meetplan opgezet wat moet voorzien in:

1. informatie over het afvoerverloop van de verschillende beken
 2. informatie over de ondiepe en diepere (1e wvp) grondwaterpotentialen
 3. informatie over de huidige relatie tussen de grondwaterstand en de peilen in de beken.
- ad.1 Het afvoerverloop van de vier genoemde beken is geregistreerd zoals dat ook geldt voor de afvoer van het gehele stroomgebied dat ten noorden van het Wilhelminakanaal automatisch door het waterschap wordt geregistreerd en de afvoer van een deel van het stroomgebied van de Rosep bij de Rozephoeve die eveneens door het waterschap wordt geregistreerd. Op de nauwkeurigheid, continuïteit en de beschikbaarheid van deze metingen zal in een later stadium worden teruggekomen.
- ad.2 Met name in het bovenstroomse deel van het studiegebied waren te weinig diepere peilbuisgegevens beschikbaar om het regionale grondwaterstandsverloop te toetsen. In het EHS-gebied waar de belangstelling meer in detail ligt, was te weinig informatie beschikbaar om b.v. de optredende regionale kwel te karakteriseren aan de hand van peilbuisgegevens. Voor een goede set calibratiegegevens is het aantal diepere peilbuizen uitgebreid met 8 extra meetpunten. Datzelfde geldt voor de freatische meetpunten, welke met 9 meetpunten is uitgebreid. Hoewel het zwaartepunt ligt op de EHS-gebieden in de beekdalen, zijn een aantal meetpunten in het landbouwgebied gesitueerd, aangezien dit in direct verband staat met de beekdalen.
- ad.3 Om te kunnen inschatten welk effect aanpassingen aan de beeklopen en de beekpeilen hebben op de kwel- en grondwatersituatie, is het van belang om de drainerende werking van de beken te beschouwen. Er zijn hiertoe een aantal grondwaterstandsraaien geplaatst. Deze raaien kunnen gecombineerd worden met het freatische meetnet.

3.2 Uitvoering metingen

De metingen zijn uitgevoerd gedurende de periode 1 april 1996 t/m 31 maart 1997. De meeste veldmetingen zijn uitgevoerd door medewerkers van het waterschap De Dommel. Deze veldmetingen zijn opgestuurd naar SC-DLO en zijn daar verder

verwerkt. Omdat hierdoor geen feeling aanwezig is met de veldsituatie heeft dit nog wel eens geleid tot vragen die niet meer opgelost konden worden.

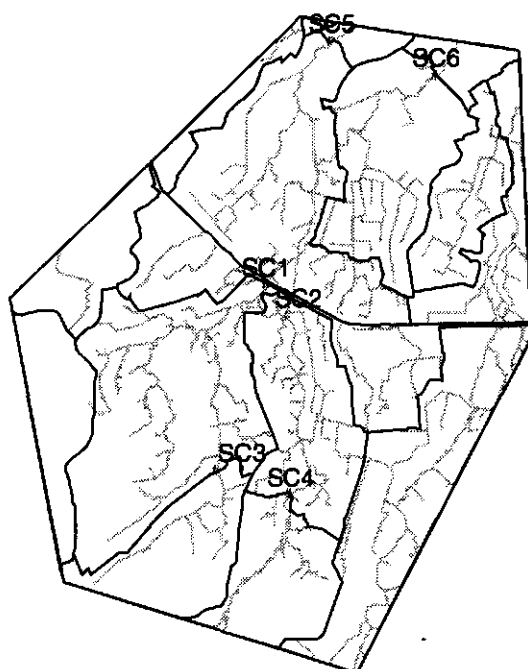
3.2.1 Oppervlaktewatermetingen

Om een indruk te krijgen van de waterbalans van het gebied is het belangrijk om een voldoende lange en gedifferentieerde reeks afvoercijfers van de verschillende deelstroomgebiedjes te krijgen. Het gebied is in eerste instantie onderscheiden in 6 aparte en goed te onderscheiden deelstroomgebiedjes. Deze gebieden waren goed te bemeten en vormden een logische hydrologische/topografische eenheid. Het gebied is ingedeeld in de volgende gebieden:

1. bovenloop Spruitenstroompje, tot aan de lijn Esbeek-Baarschot, met als afvoerpunt klepstuw S3
2. bovenloop Reusel, tot aan de lijn Esbeek-Baarschot, met als afvoerpunt klepstuw S4
3. middenloop Spruitenstroompje/Roodloop tot aan de kruising met het Wilhelmina-kanaal, met als afvoerpunt stuw S1 (een vaste houten overstort)
4. middenloop Reusel tot aan de inlaat van de RWZI, met als afvoerpunt klepstuw S2
5. benedenloop Reusel, tot aan de stuw bij Moergestel, met als afvoerpunt stuw S5
6. Rosep tot aan de Rosephoeve, met als afvoerpunt de vaste overloop S6

De meetpunten voor afvoermetingen zijn aangegeven op kaart 2.

De afvoeren van deelgebieden 1, 2, 3 en 4 zijn gemeten aan de hand van de gemeten hoogte van de waterspiegel tov de kruinhoogte (overstort) van de stuw. De afvoeren van deelgebieden 5 en 6 zijn gemeten door het waterschap. Bij de meetpunten voor gebied 1 t/m 4 zijn automatische elektronische peilschrijfunits geplaatst, die iedere maand uitgelezen zijn door medewerkers van het waterschap. Tegelijkertijd zijn op een aantal momenten ijkmetingen uitgevoerd voor het bepalen van stuwconstanten. Bij de meetpunten voor gebied 5 en 6 waren reeds peilschrijfunits aanwezig. De debietgegevens hiervan zijn door het waterschap toegestuurd aan SC-DLO. De ingerichte meetpunten zijn gewaterpast en de resultaten van de metingen zijn bewerkt tot etmaalwaarden voor het debiet.



Kaart 2. Kaart met de meetpunten voor afvoermetingen

Ervaringen met de uitvoering van de metingen door derden heeft geleerd dat niet altijd de optimale omstandigheden aanwezig zijn geweest om een zo betrouwbaar mogelijke meting te kunnen garanderen. De stuwen zijn nogal eens verontreinigd en er zijn nogal wat storingen opgetreden die niet altijd direct zijn opgelost.

3.2.2 Grondwatermetingen

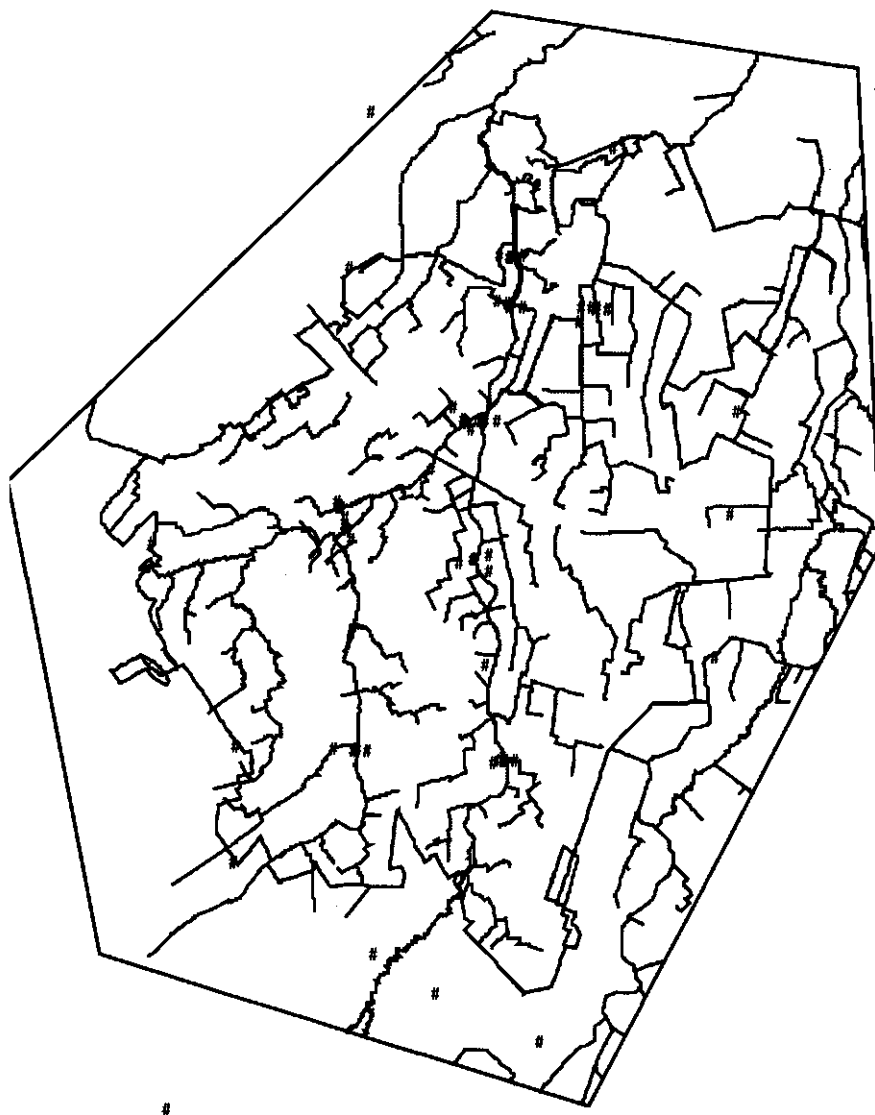
Het bestaande meetnet bevatte zowel te weinig freatische als diepere (1e wvp) buizen om een goede calibratie mogelijk te maken. Het aantal diepere peilbuizen is uitgebreid met buizen op 8 lokaties, met het zwaartepunt in het interessegebied in de middenloop, maar tevens op een beperkt aantal plaatsen in de bovenloop. Deze buizen (SC1 t/m SC8) zijn geplaatst tot een maximale diepte van ca. 20 m tot aan de 1e scheidende laag. De boringen zijn uitgevoerd als pulsboringen.

Om de ontwateringseigenschappen van de beken vast te stellen zijn er 10 tweezijdige raaien met grondwaterstandsbuizen geplaatst (raai 1 t/m 8). De raaien 4 en 5 bestaan uit 2 delen, welke in elkaar verlengde liggen. In principe is in iedere raai één buis in de waterloop geplaatst en aan weerszijden buizen op 5, 25 en 200 m afstand met op iedere locatie buiten de waterloop een filter op 2, 3 en 4 m onder maaiveld, dus 19 buizen per raai. Door de ligging van de raaien in het verlengde van elkaar (raai 4a, 4b, 5a en 5b) vallen bij deze raaien de locaties van de buizen op 200 m van 4a en 5a samen met resp. 4b en 5b.

Het freatische meetnet is uitgebreid met 9 buizen (L1 t/m L10, L9 ontbreekt). Deze zijn geplaatst tot net onder de GLG en zijn bedoeld om de "witte plekken" op te

vullen die overblijven bij combinatie van het bestaande freatische meetnet en de nieuw geplaatste raaien loodrecht op de beken.

Op kaart 3 zijn de lokaties weergegeven van de meetpunten voor grondwaterstanden, welke zijn ingericht door SC-DLO, terwijl in bijlage 11 de technische gegevens van de meetpunten zijn opgenomen.



Kaart 3. Ligging van de meetpunten voor grondwaterstanden

De raaien zijn in kaart 3 aangegeven door meerdere punten naast elkaar en zijn van noord naar zuid genummerd met 1 t/m 8.

4 Meetresultaten

4.1 Meteogegevens

In het databestand zijn de dagelijkse gegevens van de neerslag van het KNMI-station Esbeek en de referentiegwasverdamping van het KNMI-station Eindhoven ingevoerd. In fig. 1 voor Esbeek het neerslagverloop per decade weergegeven. Opvallend hierbij is de natte periode eind augustus, waarbij de afvoeren van de stuwen weer toe zal nemen en waarna de grondwaterstand weer stijgt. Dit beeld wordt bevestigd door de hierna weergegeven figuren. Daarna volgt een natte periode in de maanden november en december, waarna een zeer droge laatste decade van december en de gehele maand januari volgen.

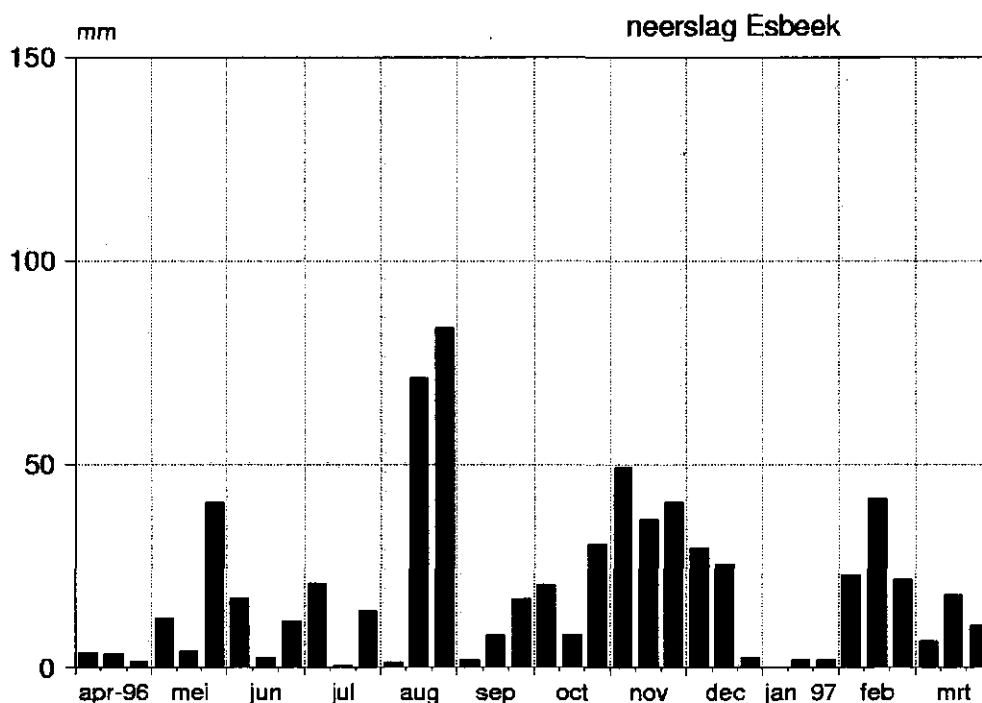


Fig. 1 Neerslag per decade voor Esbeek

4.2 Grondwaterstijghoogten

Van de geplaatste diepe boringen en landbouwbuizen is 2 keer per maand omstreeks de 14e en de 28e de grondwaterstand/stijghoogte gemeten door medewerkers van het waterschap en DLG. Deze metingen zijn verricht van april 1996 t/m maart 1997. De meetgegevens zijn door SC-DLO ingevoerd in een databestand en omgerekend naar NAP. Van het verloop van deze grondwaterstanden is in fig. 2 een voorbeeld gegeven van het grondwaterstandsverloop van boring SC6. De grondwaterstand van het diepe filter staat hoger dan van het bovenste filter.

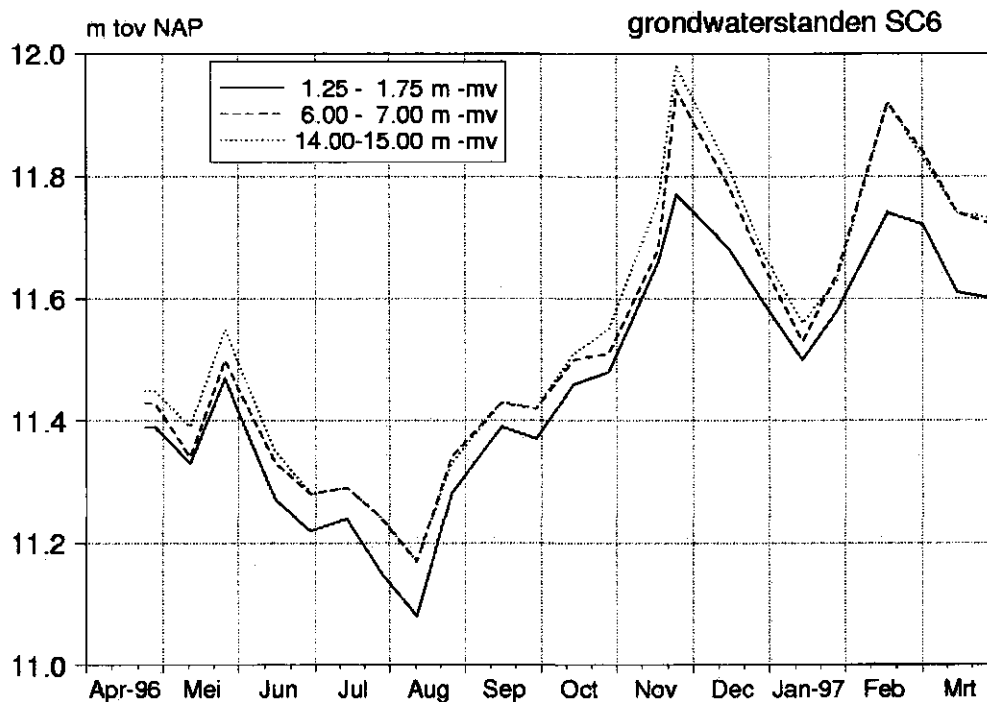


Fig. 2 Het grondwaterstandsverloop bij boring SC6 op 3 verschillende dieptes

Daarnaast zijn op bovengenoemde dagen ook de raaien met grondwaterstandsbuizen waargenomen en voor zover mogelijk eveneens een peil van de waterloop ter plekke gemeten. Hiervan is in fig. 3 als voorbeeld gegeven de buizen van raai 6 op 5 meter van de Reusel. De diepte van de filters is resp. voor O5-1, O5-2 en O5-3, 2, 3 en 4 m -mv. Hierbij is duidelijk te zien dat het diepste filter de hoogste grondwaterstand aangeeft, hetgeen wijst op een drainagesituatie.

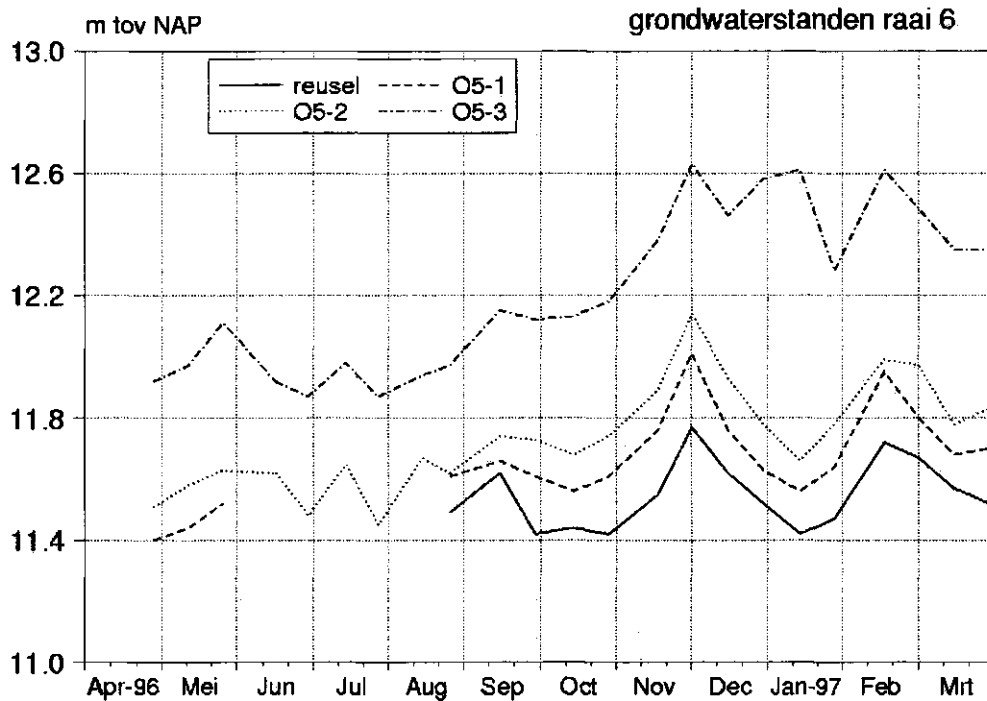


Fig. 3 Het verloop van de grondwaterstanden in een deel van raai 6

Tevens zijn uit het OLGA-bestand voor het onderzoeksgebied voor de periode van 1984 t/m 1997 de grondwaterstanden opgevraagd van alle buizen, en van een geselecteerd aantal landbouwbuizen. Deze gegevens zullen worden gebruikt voor de calibratie van het grondwatermodel (van der Bolt e.a., 1999). In totaal zijn voor 121 lokaties de standen verkregen van 253 buizen en deze zijn opgenomen in een databestand. De diepte van de filters varieert van 1 tot 500 m -NAP. Van al deze grondwaterstanden is een plot gemaakt voor controle op eventuele meetfouten. In fig. 4 is een voorbeeld gegeven van 1 lokatie met 4 filters: buis 57AP0026. Opvallend hierbij is de verlaging van de grondwaterstand welke vanaf 1989 is opgetreden. Dit beeld is bij meerdere buizen te zien.

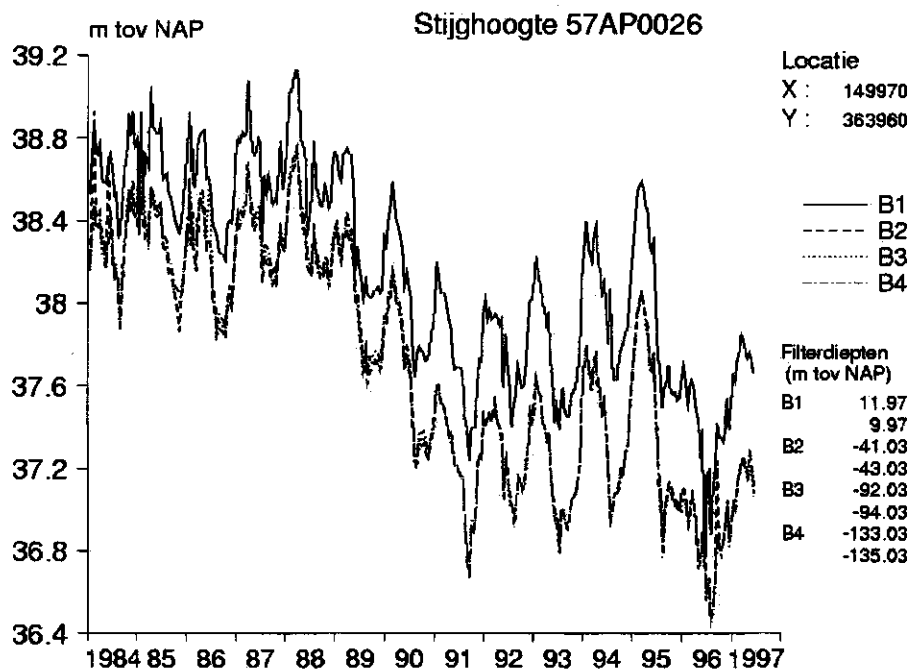
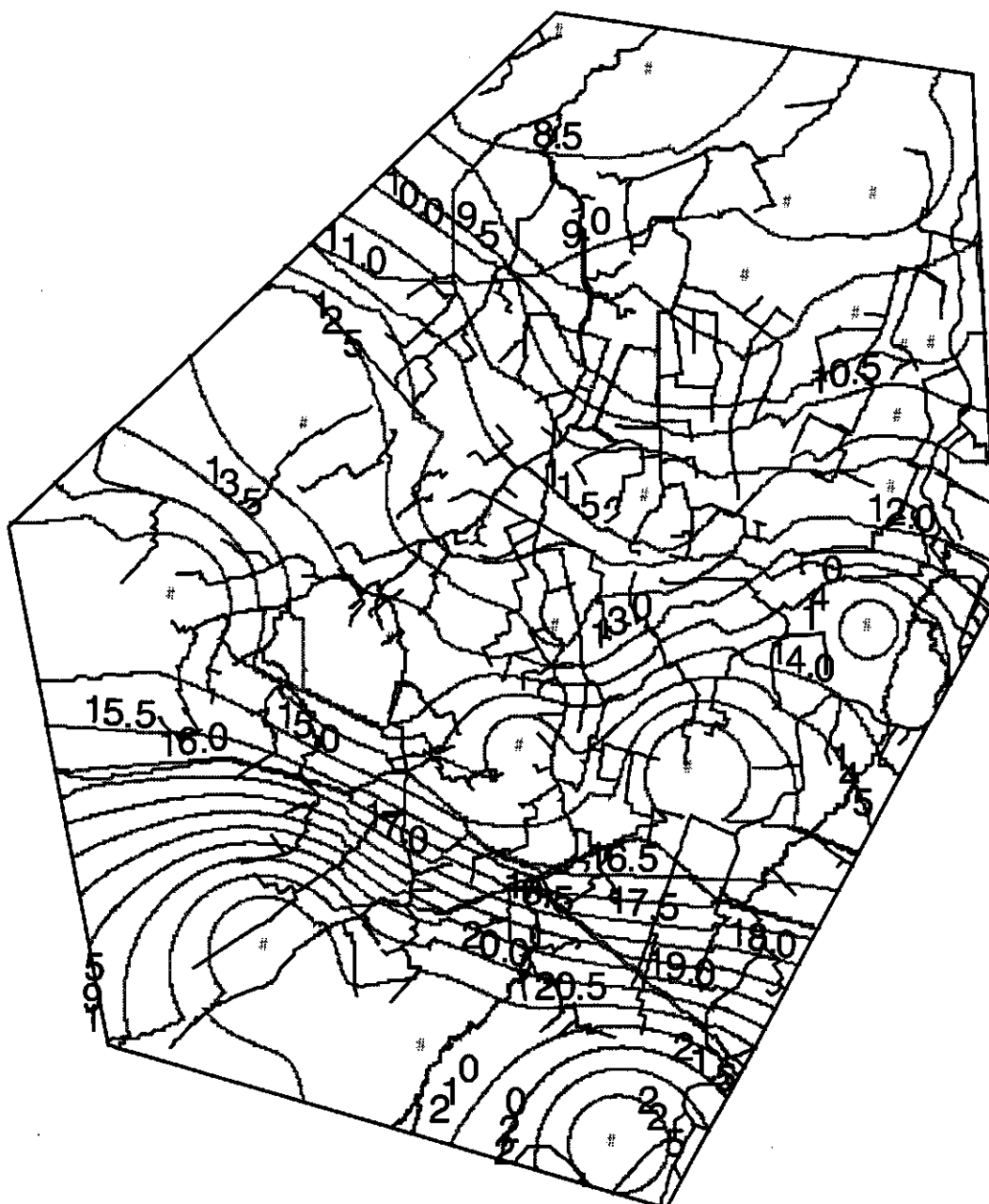


Fig. 4 Het verloop van de grondwaterstanden van lokatie 57AP0026

Uit het OLGA-bestand, aangevuld met de eigen metingen van SC-buizen, zijn voor 3 watervoerende pakketten gegevens geselecteerd voor het maken van isohypsenkaarten. Hierbij is gezocht naar een natte periode en een droge periode tijdens de meetperiode. Voor de natte periode is gekozen februari 1997 en voor de droge juli-augustus 1996.

In kaart 4 is als voorbeeld gegeven de isohypsenkaart van een 1e watervoerend pakket uit waarnemingen van de gehele meetperiode.

Het algemene stromingsbeeld van het grondwater is van 22,00 m +NAP in het zuiden naar 8,50 m +NAP in het noorden van het onderzoeksgebied.



15,5 stijghoogte in m +NAP

Kaart 4. Isohypsens van het 1e watervoerend pakket

Van de isohypsenkaarten van het bovenste watervoerend pakket zijn waarden afgelezen voor de stijghoogte van dit pakket bij de 10 meetraaien. In de bijlagen 1 t/m 10 zijn van de 10 meetraaien de verkregen peilen, grondwaterstanden en stijghoogten weergegeven voor zowel de droge als natte situatie, resp 11 of 14 augustus 1996 en 15 februari 1997. In alle 10 raaien is voor beide situaties de stijghoogte van het diepere pakket hoger dan de grondwaterstand in de raaien, hetgeen duidt op een drainagesituatie. De enige uitzondering hierop is raai 8, waarbij in de zomersituatie de stijghoogte van het diepere pakket daalt tot onder de grondwaterstanden in de raai.

4.3 Oppervlaktewaterpeilen en debieten

De metingen zijn uitgevoerd in de periode 1 april 1996 t/m 31 maart 1997. In principe zijn er uurmetingen van het bovenstroomse peil beschikbaar voor de meetpunten S1 t/m S4, maar voor de verdere verwerking zijn deze omgerekend naar etmaalwaarden. Deze etmaalwaarden van S1 t/m S4 zijn met de kruinhoogte weergegeven in de figuren 5 t/m 8. Uit deze figuren blijkt dat de reeksen van S1 en S4 niet volledig zijn.

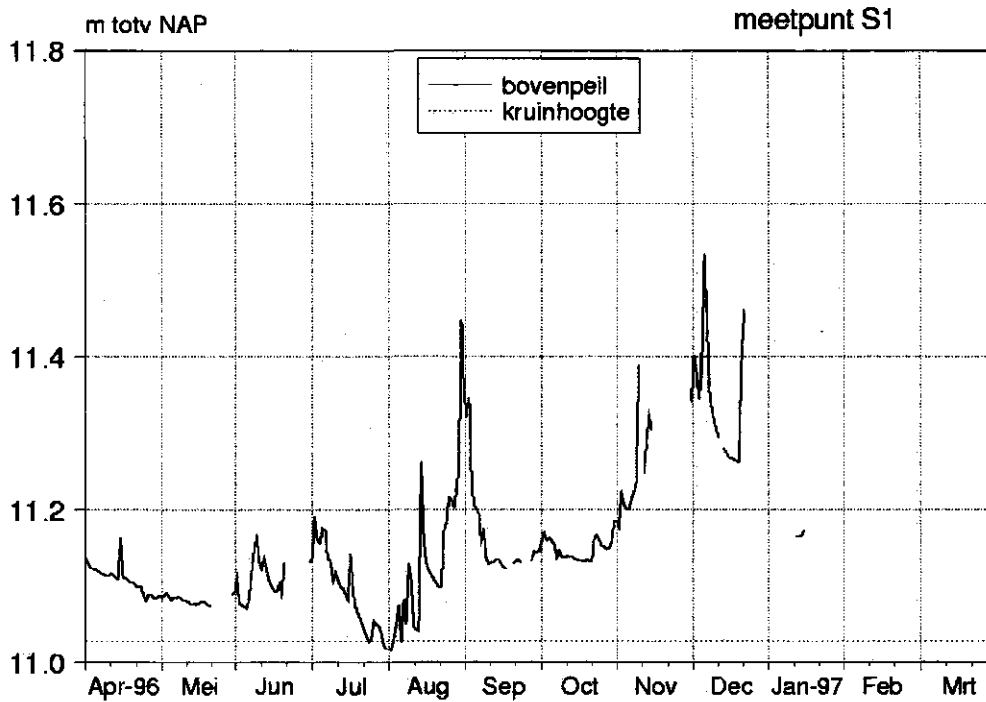


Fig. 5 Het verloop van het bovenpeil en de kruinhoogte bij stuw S1

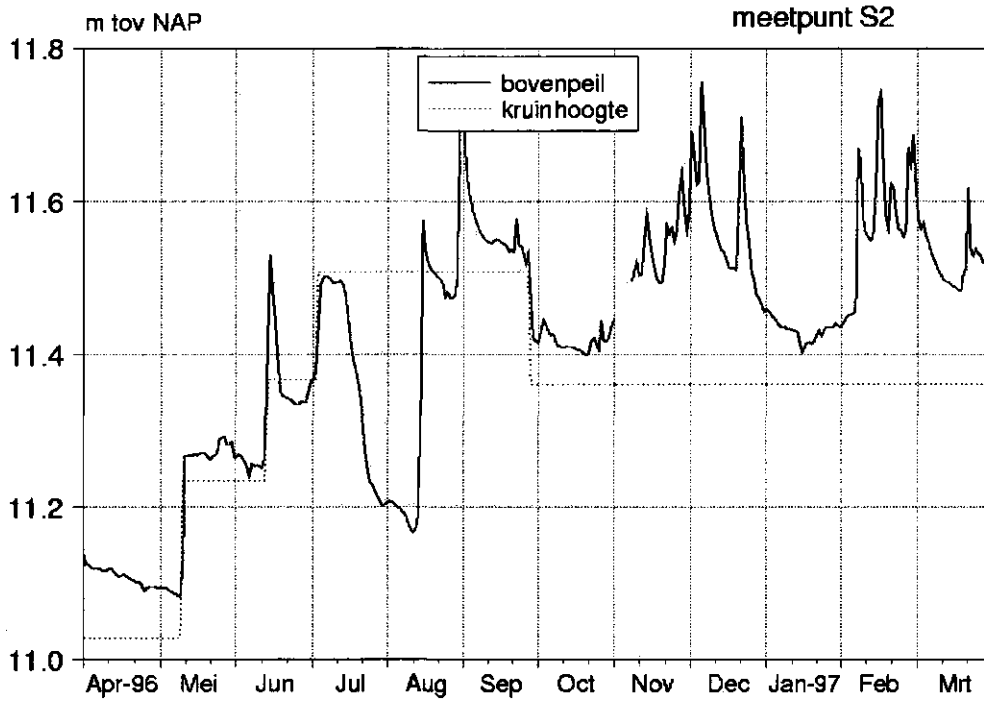


Fig. 6. Het verloop van het bovenpeil en de kruinhoogte bij stuw S2

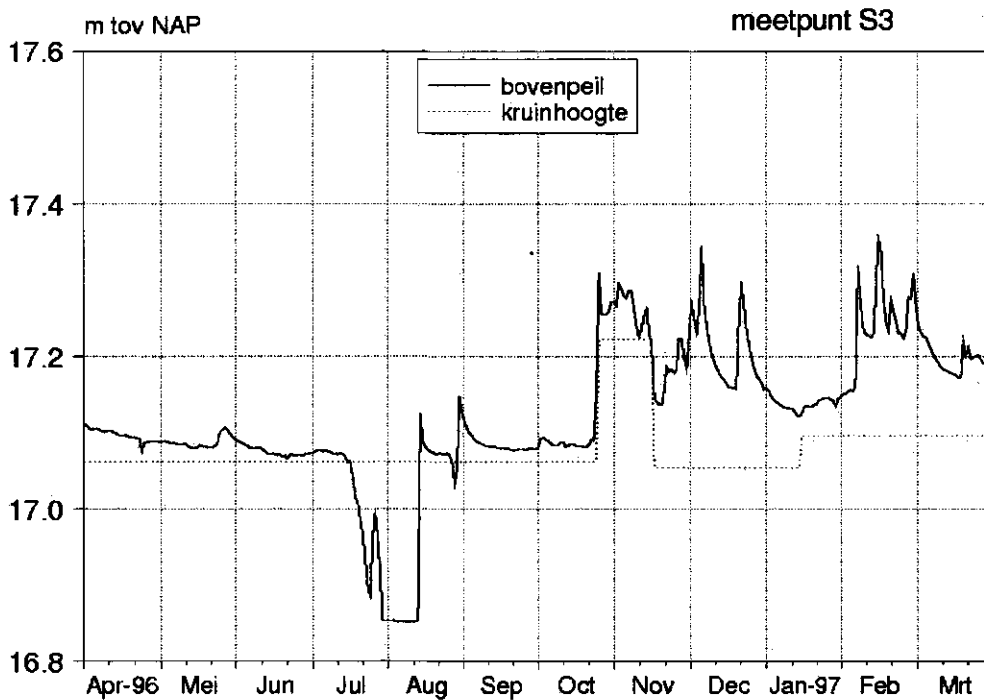


Fig. 7. Het verloop van het bovenpeil en de kruinhoogte bij stuw S3

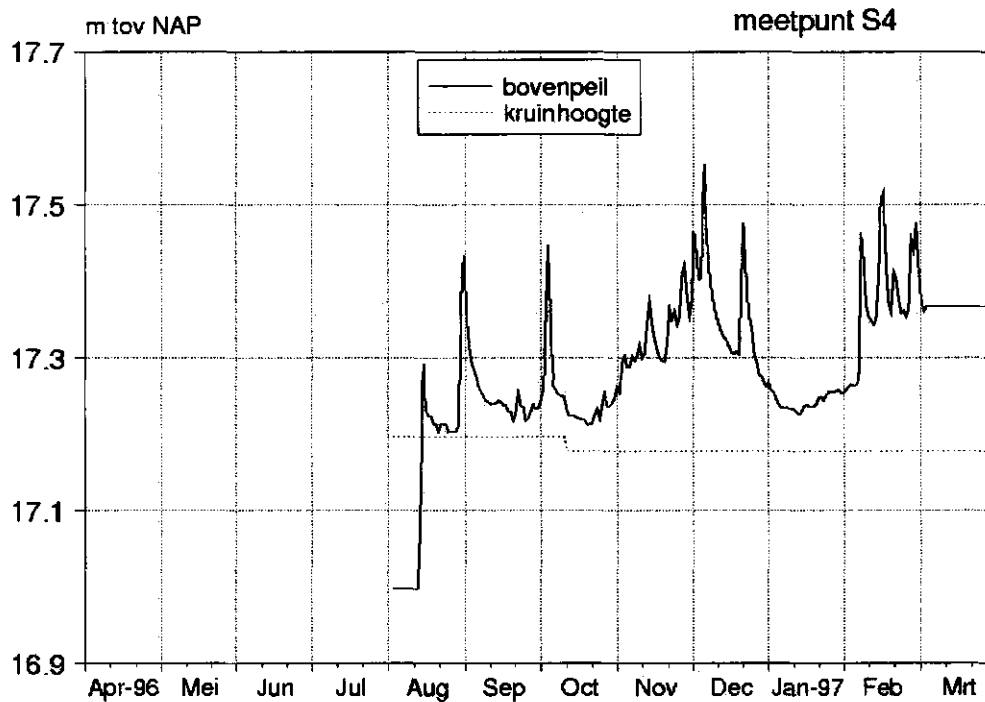


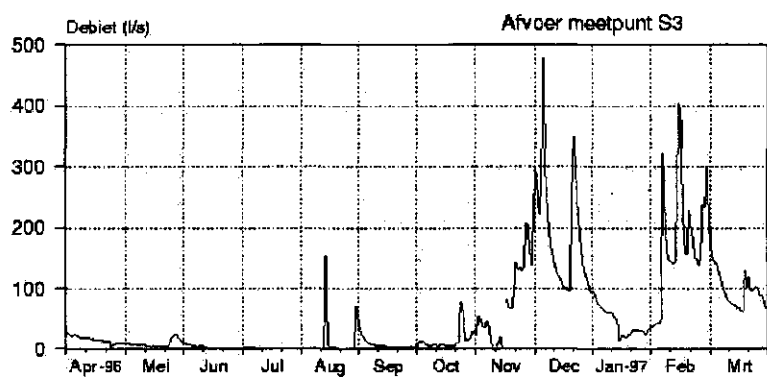
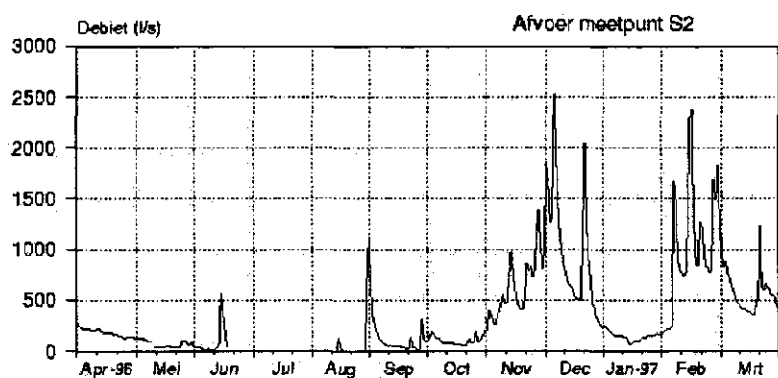
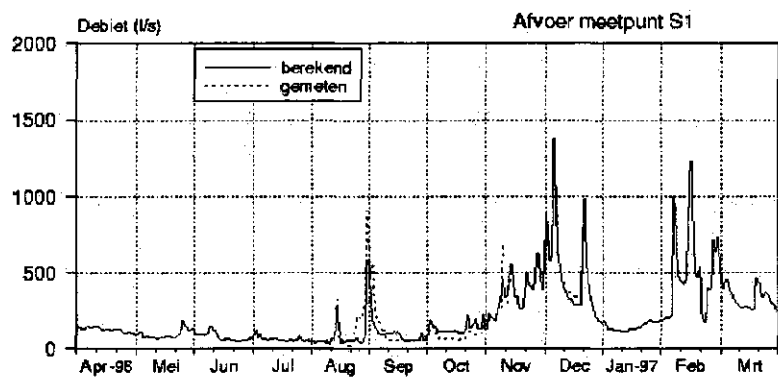
Fig. 8. Het verloop van het bovenpeil en de kruinhoogte bij stuw S4

Deze etmaalwaarden voor het bovenpeil en de kruinhoogte zijn voor bovengenoemde stuwen ingevoerd in een spreadsheet waarmee met behulp van de bestaande stuwformule het debiet per dag is berekend.

$$Q = c \cdot b \cdot h^{1,5} \quad (1)$$

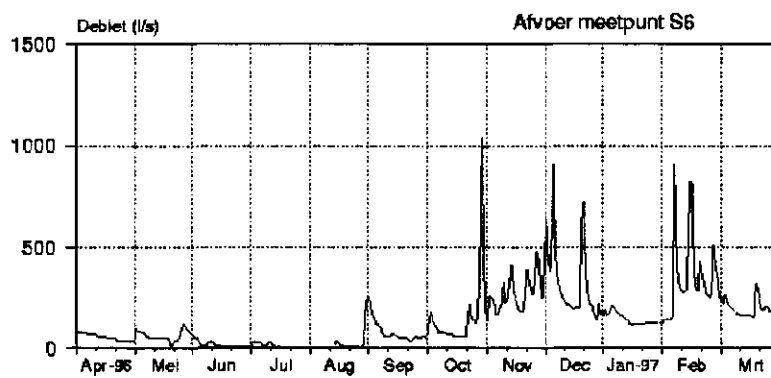
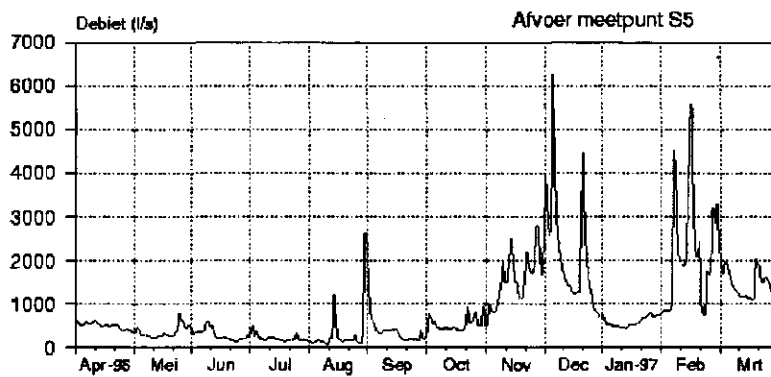
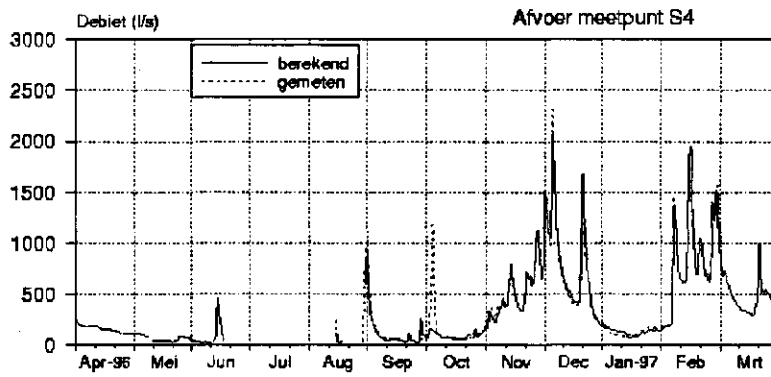
waarin: Q = debiet (m^3/s)
 c = afvoercoëfficiënt
 b = stuwbreedte (m)
 h = overstorthoogte (m)

Om voor de stuwen S1 en S4 toch een complete meetreeks te hebben zijn de ontbrekende gegevens aangevuld. Met behulp van lineaire regressie is er een relatie bepaald tussen de debieten onderling en hiervan is voor S1 en S4 diegene gekozen met de hoogste correlatie. De hoogste correlatie van S1 was met S5 en bedroeg 0.94 en de relatie tussen de debieten van beide stuwen was: $S1 = 21,688 + 0,217 \cdot S5$. Voor S4 was de hoogste correlatie 0,99 met S2 en de relatie tussen de debieten was $S4 = 10,988 + 0,811 \cdot S2$. Met de verkregen relaties zijn de debieten voor S1 en S4 berekend voor de totale meetperiode. De debieten van S5 en S6 zijn rechtstreeks door het waterschap aangeleverd en als zodanig verder gebruikt.



Meetprogramma De Hilver

Fig. 9 Het uit de overstorthoogte berekende debietverloop voor S1 t/m S3, voor S3 tevens berekend uit correlatie met S



Meetprogramma De Hilver

Fig. 10 Het uit de overstorthoogte berekende debietverloop voor S4 t/m S6, voor S4 tevens berekend uit correlatie met S2

In fig. 9 en 10 is voor de 6 stuwen in grafiek het verkregen debiet weergegeven. Daarbij is voor S1 en S4 zowel het gemeten als berekende debiet weergegeven. Daaruit blijkt dat er weinig afwijkingen voorkomen tussen het gemeten en berekende debiet.

De aldus verkregen dagwaarden zijn samengebracht in een databestand en hiervan is in fig.11 het debietverloop van de 6 stuwen weergegeven in een totaal beeld.

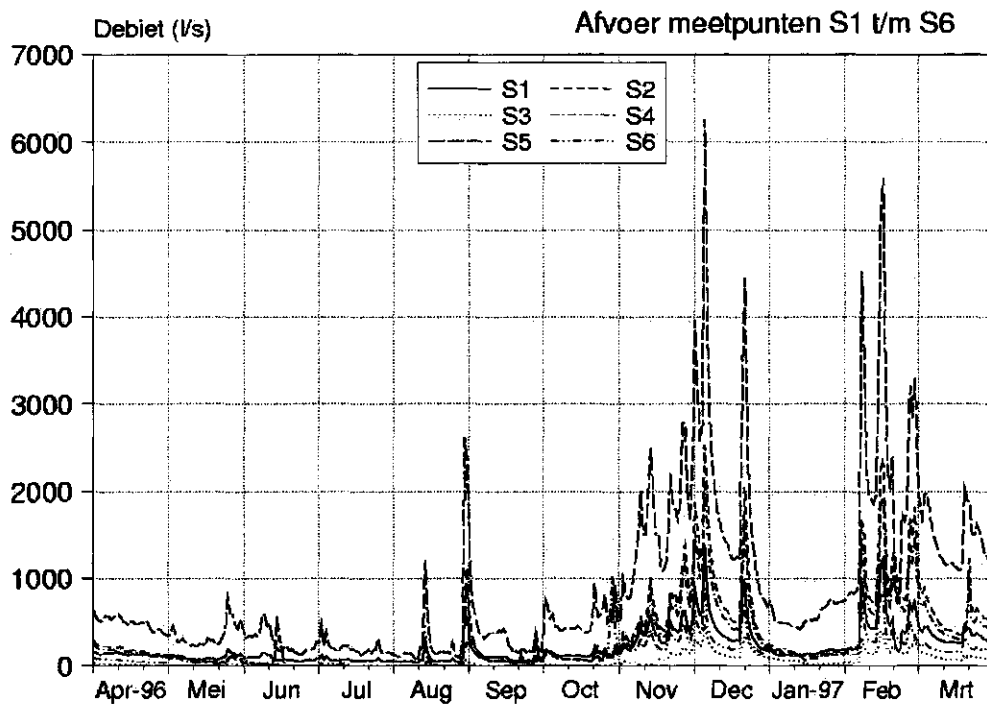


Fig. 11 Het debietverloop van stuw S1 t/m S6 in l/sec

Om een betere vergelijking mogelijk te maken zijn de debieten omgerekend naar afvoeren in mm/dag door de oppervlakte van het achterliggende gebied mee te nemen. In fig. 12 is hiervan voor de 6 stuwen het verloop weergegeven. Hierbij valt op de hoge waarde van S6 voor eind oktober. De oorzaak hiervan is de hoge afvoer zoals die ook in fig. 10 is te zien. Dit zou kunnen wijzen op een meetfout in de debietgegevens zoals die door het waterschap zijn aangeleverd. Voor het overige is de dynamiek in het afvoerterloop opvallend gelijkvormig en is het niveau - met uitzondering van gebied S6- ook niet erg verschillend. De afvoer van gebied S6 ligt duidelijk boven de afvoeren van de andere gebieden, hetgeen op een kwelsituatie kan duiden.

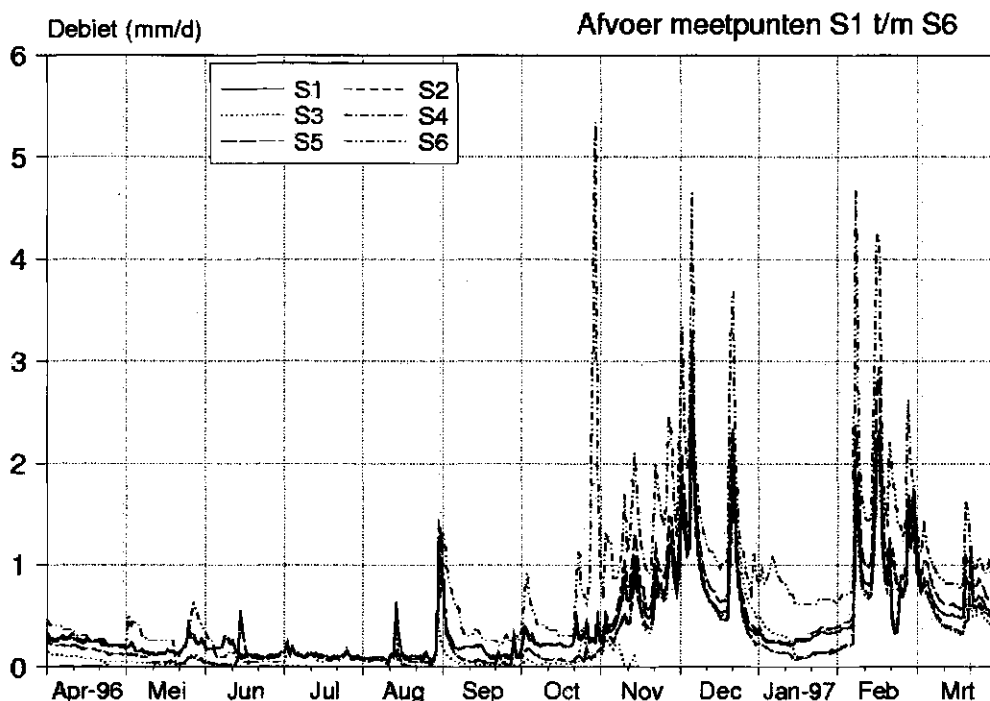


Fig. 12 Het debietverloop van stuw S1 t/m S6 in mm/dag

4.4 Metingen betreffende de kwelintensiteit vanuit het Wilhelminakanaal

Om een indruk te krijgen over de kwelstroming vanuit het Wilhelminakanaal naar de plaatselijk lager gebieden langs het kanaal zijn er metingen verricht voor een gebied ten noorden van het kanaal in de buurt van Haghorst. Er is een gebied gekozen waarbij het mogelijk was om de afvoer vanuit het gebied te meten. De afvoer is gemeten met behulp van registratieapparatuur bij een VOPO-pomp. Er zijn voor zowel een droge als een natte periode door SC-DLO berekeningen uitgevoerd om de kwelintensiteit te bepalen. Voor de droge periode zijn de berekeningen gemaakt voor 21 en 22 september 1996 waarbij resp een debiet werd berekend van 1,38 en 1,29 mm/dag. Voor de nattere periode is voor resp. 30 september en 1 en 2 oktober een debiet berekend van 1,62, 2,41 en 2,29 mm/dag. In fig. 12 is voor die 2 perioden een debiet af te lezen van resp. 0,2 en 0,8 mm. Door deze waarden van het berekende debiet in mindering te brengen is de kwel vanuit het kanaal 1,1 resp. 1,3 mm.

5 Interpretatie meetresultaten

5.1 Foutenanalyse

Tijdens veldbezoek werden regelmatig storingen, vervuilingen e.d. geconstateerd bij de meetstuwen, niet alleen aan de meetapparatuur, maar ook aan de stroomrichting van de sloten. Zo werd bij S1 geconstateerd dat niet al het water over de stuw stroomde maar ook werd afgevoerd door de kanaalsloot richting S2. Daarnaast waren de stuwen soms zodanig vervuild dat niet over de totale breedte van de stuw water stroomde. Uit deze waarnemingen blijkt dat de nauwkeurigheid van meten sterk afhankelijk is van de veldcondities en van de controle ter plaatse.

Om een zo goed mogelijk idee te krijgen over de betrouwbaarheid van de meetgegevens is een globale foutenanalyse uitgevoerd om de nauwkeurigheid vast te stellen van de berekende debieten.

Bij de debietberekeningen bij stuwen wordt veelal gebruik gemaakt van de standaard stuw-formule (1). Hierin wordt gebruik gemaakt van de stuwbreedte, de overstorthoogte en een stuwconstante. In al deze gegevens kunnen meetfouten gemaakt worden.

Gestoeld op veldwerk en ervaring is aangenomen dat in de stuwbreedte een fout gemaakt kan worden van 5 cm, mede door vervuiling van de stuwen. Het spreekt voor zich dat een fout van 5 cm bij een stuw van 2 m breed grotere afwijkingen zal geven in het berekende debiet dan bij een stuw van 5 m breed.

De overstorthoogte wordt verkregen door het verschil in de gemeten hoogte van de kruin van de stuw en het gemeten peil van het water boven de stuw. In deze overstorthoogte zitten dus 2 meetwaarden waarin fouten gemaakt kunnen worden. Voor de foutenanalyse is aangenomen dat een gezamenlijke meetfout van 1 cm kan optreden.

Ten slotte is de stuwconstante een onzekere factor. In sommige gevallen zijn stuwen geijkt waardoor een vrij grote nauwkeurigheid voor de stuwconstante is verkregen, maar in andere gevallen is door vergelijking van stuwen en uit literatuur een stuwconstante aangenomen. De stuwconstante zal in de meeste gevallen variëren van 1,5 tot 2,0. Voor de foutenanalyse is aangehouden dat de stuwconstante een afwijking kan hebben van 0,1.

Om aan te kunnen geven wat de betrouwbaarheid van de berekende debieten is zijn er berekeningen uitgevoerd voor 2 stuwen, S2 en S3, waarbij al deze genoemde afwijkingen zijn gehanteerd. De aldus verkregen afwijkingen in het berekende debiet voor de totale meetperiode is voor S2 minmaal 15,3 % en maximaal 17,3%. Voor S3 is dat resp. 22,9 en 28,8 %. Het verschil tussen deze 2 stuwen wordt grotendeels verklaard door het verschil in de stuwbreedte. S2 is 4,77 m breed en S3 is 1,85 m breed.

De stuwen S2, S4 en S5 zijn vrijwel identiek, waardoor voor S4 en S5 dezelfde afwijkingen kunnen gelden. Bij stuw S5 is door het waterschap een ijking uitgevoerd waarbij de volgende stuwformule is berekend:

$$Q = 7,01 * 2,498 * h^{1,669}.$$

Bij de debietberekeningen voor S2 en S4 is eveneens bovenstaande formule aangehouden, rekening houdend met de breedte van desbetreffende stuwen.

De stuw S1 is een vaste schotbalk met een geringe V-vorm waardoor geen verandering in de kruinhoogte zal optreden, maar daarnaast is deze stuw wel regelmatig vervuild geweest en is er lekkage opgetreden langs de stuw en door de kwelsloot richting S2. Wel zijn een aantal ijkmetingen uitgevoerd bij deze stuw, waarbij een stuwconstante werd berekend van 1,2. Voor de berekening van het debiet is deze constante aangehouden. Door de breedte van 3,00 m zal net als voor S3 ook voor S1 een afwijking voor kunnen komen van ca. 25%.

De debietgegevens van S6 zijn door het waterschap aangeleverd. Deze stuw is een vaste balk waarin weer een verlaging is aangebracht om ook bij lage afvoeren de overstort redelijk nauwkeurig te kunnen meten. Bij de analyse is een foutenpercentage aangehouden van 20%.

In de meteogegevens zullen eveneens afwijkingen voorkomen door de soms plaatselijke buien en door de afstand tussen de KNMI-stations en de meetlokaties.

Aangenomen is dat voor de neerslag een afwijking van 6% (Warmerdam, 1981) en in de referentiegewasverdamping een afwijking van 10% kan optreden in de dagelijkse waarnemingen.

5.2 Waterbalans

De uiteindelijk verkregen debieten en meteogegevens zijn verwerkt in een waterbalans voor de gehele meetperiode (365 dagen).

De waterbalans bestaat uit de volgende termen, waarbij de kwel als restpost wordt berekend:

$$K^* = P^* + A^* - E^* - D^* \pm B^*$$

waarin: K^* : kwel
 P^* : neerslag
 A^* : gebiedsaanvoer
 E^* : evapotranspiratie
 D^* : gebiedsafvoer
 B^* : bergingsverandering

Er is een grondwaterstandsverhoging van ca. 20 cm, zoals globaal te zien is in fig. 9 en 10, ervan uitgaande dat de grondwaterstand op 1 april 1996 enkele cm's hoger is geweest dan bij de eerste waarneming in die maand. Bij een aangenomen bergingscoëfficiënt van 0,10 is dat een toename in de berging van 20 mm.

Bij de verwerking in een waterbalans is aangegeven wat de afwijking zou kunnen zijn in de debieten uitgaande van de maximale meetfouten zoals die zijn besproken in hoofdstuk 5.2. Hierbij zijn de volgende percentages aangehouden:

neerslag	6%
verdamping	10%
meetpunt S1	25%
meetpunt S2	16%
meetpunt S3	25%
meetpunt S4	16%
meetpunt S5	16%
meetpunt S6	20%

voor de berging is een afwijking aangehouden van +/- 10 mm.

Voor een aantal stroomgebieden zijn nu berekeningen gemaakt voor een waterbalans. Deze gebieden zijn zodanig gekozen dat er over de aanvoer en afvoer van dat gebied gegevens bekend zijn:

1. De gebieden S1 t/m S6 zijn de totale stroomgebieden zoals die afwateren via resp. de stuwen S1 t/m S6
2. gebied A is het gebied waarbij aanvoer plaats vindt via S1 en S2 en afvoer via S5
3. gebied B is het gebied waar aanvoer is via S4 en afvoer via S2
4. gebied D is het gebied waar aanvoer is via S3 en afvoer via S1

Voor die gebieden is allereerst voor de balans een berekening gemaakt voor de gemeten situatie (1), daarna voor de situatie waarbij de meetfouten zouden zijn toegepast. In onderstaande tabel zijn de aldus verkregen verschillen weergegeven voor de 3 situaties, waarbij de debieten zowel in positieve als negatieve richting op kunnen. Hierbij is ook gerekend met verschillen in de neerslag en de verdamping (2 en 3). Omdat er voor alle gebieden kan worden uitgegaan van dezelfde neerslag en verdamping zijn er tevens 2 berekeningen uitgevoerd waarbij de neerslag en verdamping niet veranderen (4 en 5). Deze aanpak is uitgevoerd om vooral onderlinge verschillen in kwel tussen de deelgebieden zichtbaar te maken. De spreiding in de berekende kwel is nu aanzienlijk geringer. In tabel 1 worden de meetresultaten samengevat.

Tabel 1 De uit de waterbalans berekende gemiddelde kwel en de spreiding bij wel en niet meenemen van fouten in neerslag en verdamping

Gebied	Gemiddelde kwel	Spreiding	
		wel	niet
S1	27,7	283,5	92,0
S2	2,8	247,8	56,3
S3	-14,0	262,6	71,2
S4	-6,7	246,6	55,0
S5	50,5	246,5	73,4
S6	146,9	316,8	125,2
A	253,4	183,0	96,8
B	22,5	255,9	64,4
C	51,4	295,4	103,8

Op grond van deze tabel valt voorzichtig te concluderen dat de spreiding in de kwel per gebied groter is dan de onderlinge verschillen, met uitzondering van gebied S6.

5.3 Dwarsraaien

Een interpretatie van de dwarsraaien zoals te zien in de bijlagen 1 t/m 10 is vrij moeizaam omdat er niet tegelijkertijd de bij de stijghoogten behorende sterkte van de grondwaterstroming ter plekke van de dwarsraaien bekend is.

De voornaamste constatering is dat in vrijwel alle raaien de stijghoogte van het diepe grondwater hoger is dan van het ondiepe grondwater. Dit lijkt de conclusie te rechtvaardigen dat in de meeste gevallen in de beekdalen een kwelsituatie voorkomt.

Over het algemeen is de stijghoogte in het diepe pakket in de winter 0,50 - 0,80 m hoger dan in de zomer. In de raaien 7 en 8 is dit verschil echter veel groter, nl. 1,50 m.

In vrijwel alle raaien komt de stijghoogte van het diepe pakket in de winterperiode boven of gelijk maaiveld.

In deelrapport 2 (van der Bolt, 1999) worden de gegevens uit de dwarsraaien nader geanalyseerd.

6 Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

1. De resultaten van het meetprogramma voor het gebied "De Hilver" geven een noodzakelijke aanvulling op de kennis van het hydrologisch systeemgedrag.
2. Door de korte duur van de meetperiode (1 jaar) en het feit dat de meeste stuwen niet zijn ingericht als meetstuw is name de nauwkeurigheid van de berekende afvoeren beperkt.
3. Bij het berekenen van de debieten aan de hand van de gemeten overstorten komen vrij veel onzekerheden voor, die tot aanzienlijke fouten in de berekende afvoeren (in de orde van 20 %) leiden.
4. De spreiding in de berekende kwel is voor deelgebieden die zowel aan- als afvoer hebben, zeer groot; de spreiding in de berekende kwel voor deelgebieden met alleen afvoer is aanzienlijk kleiner.
5. De metingen in de dwarsraaien geven een moeilijk interpreteerbaar beeld van de grondwaterstroming nabij de waterlopen.

Literatuur

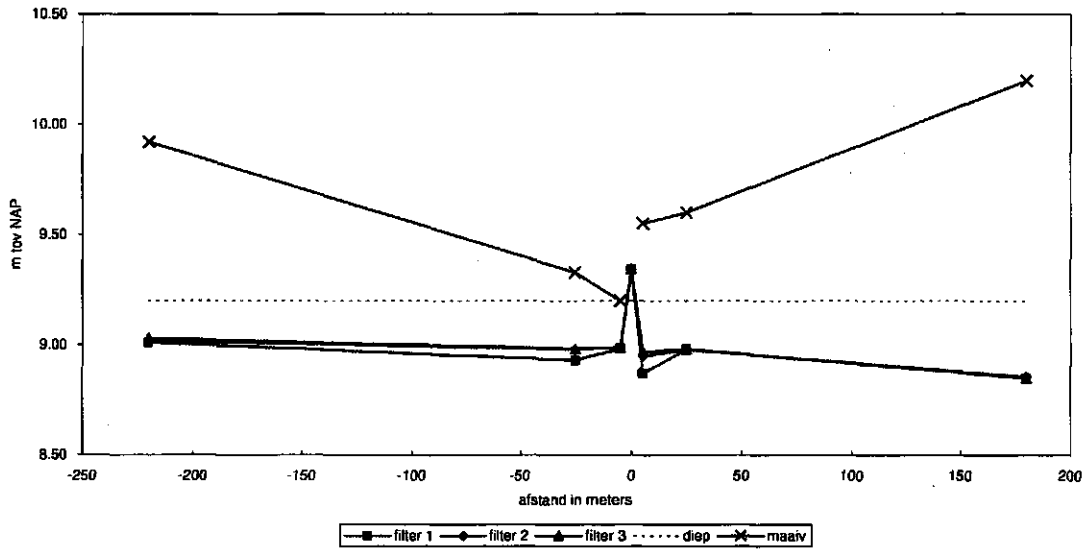
Bolt, F.J.E. van der, A.A. Veldhuizen en P.E.V. van Walsum, 1999. *Hydrologische systeemanalyse "De Hilver", Simulatie van de regionale waterhuishouding*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 683.2.

Weijers, J.P., 1997. *Hydrologische schematisatie top-systeem Hilver*. Heerlen, NITG-TNO. TNO-rapport NITG 97-275.

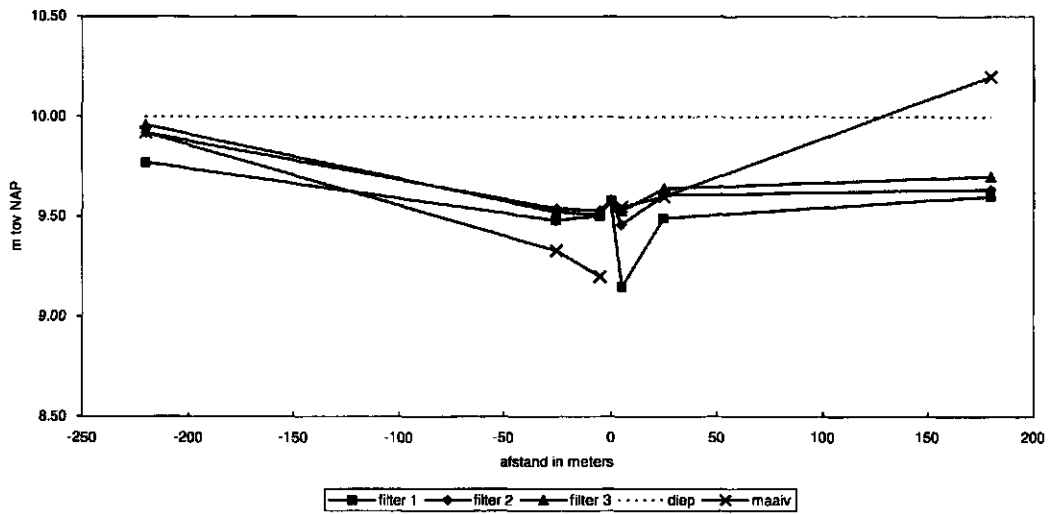
Warmerdam, P.M.M., 1981. *De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek*. H₂O (14) 1, 16-20.

Bijlage 1 Raai 1

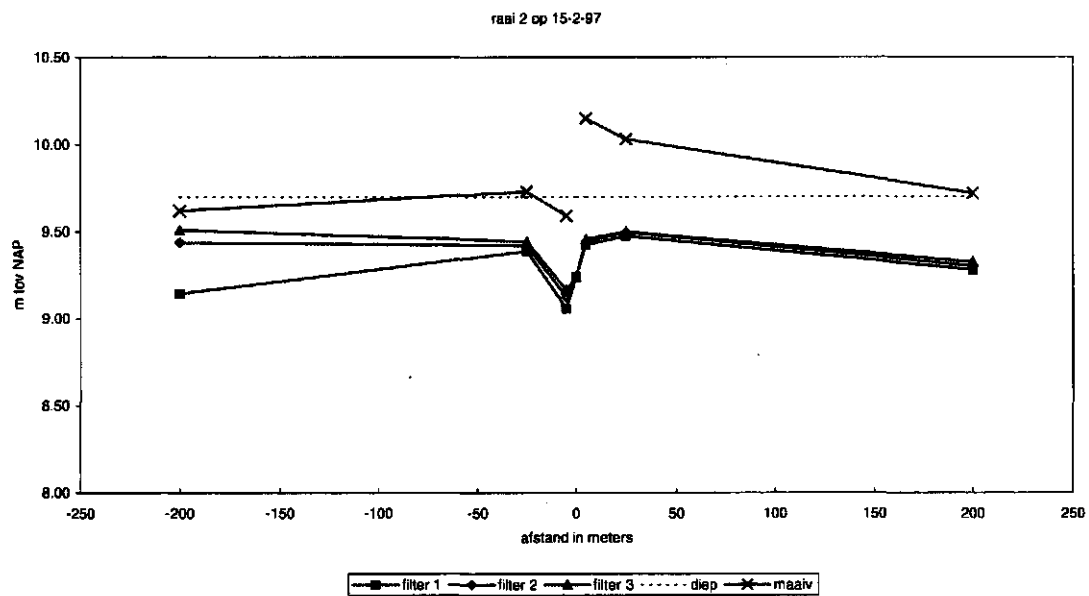
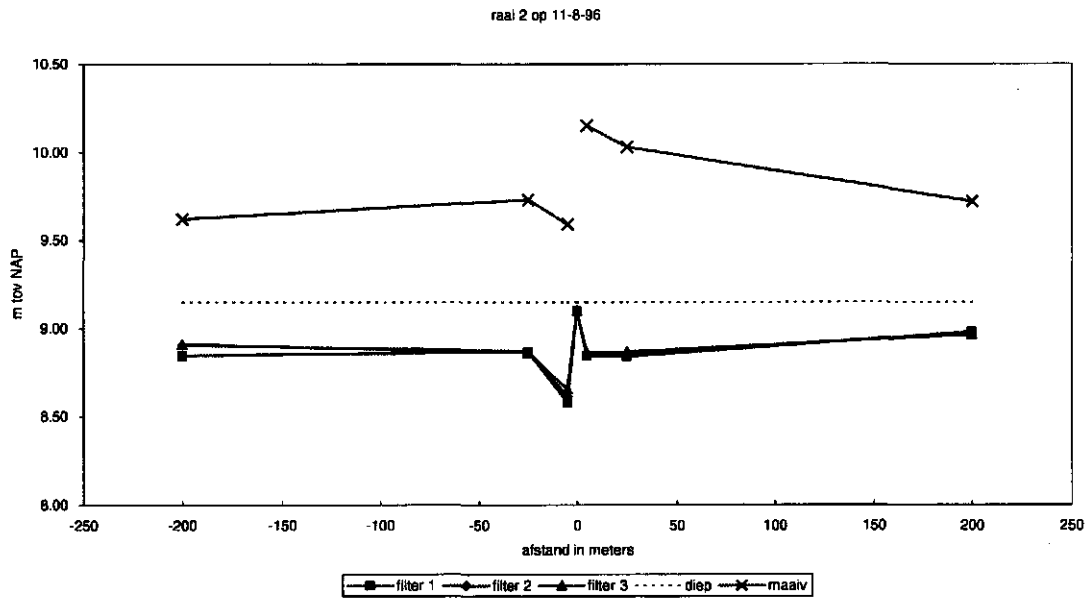
raai 1 op 11-8-96



raai 1 op 15-2-97

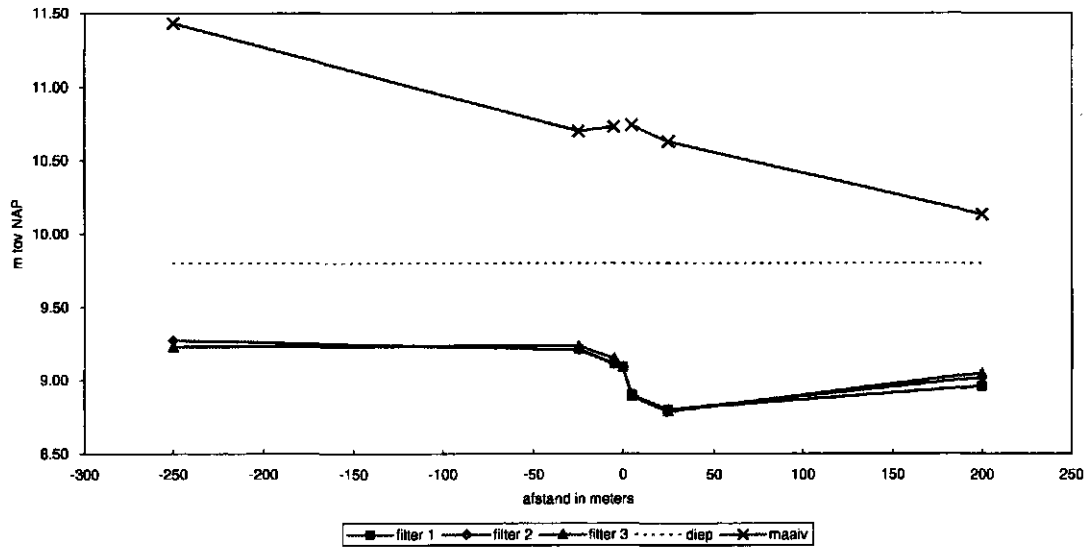


Bijlage 2 Raai 2

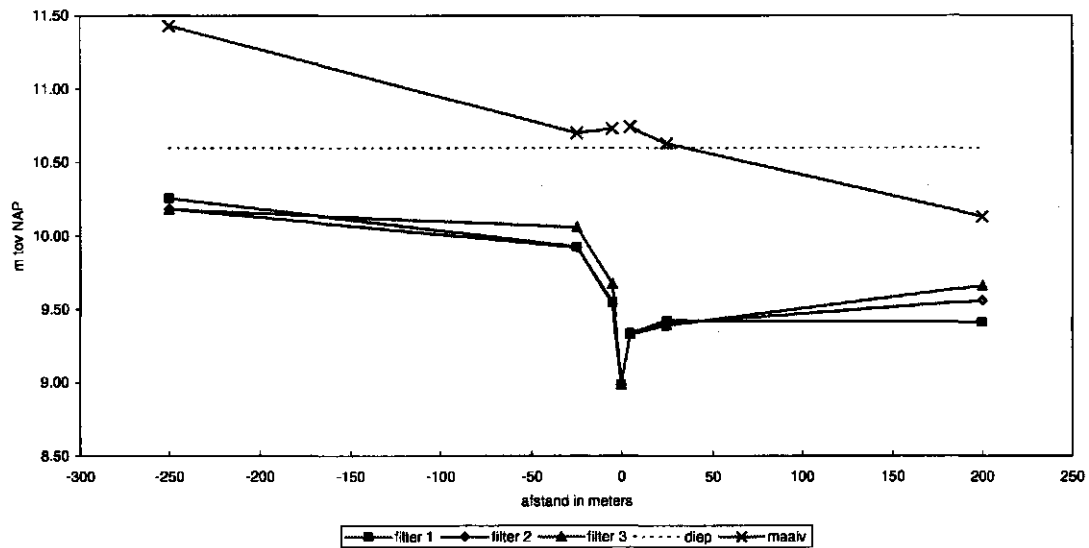


Bijlage 3 Raai 3

raai 3 op 11-8-96

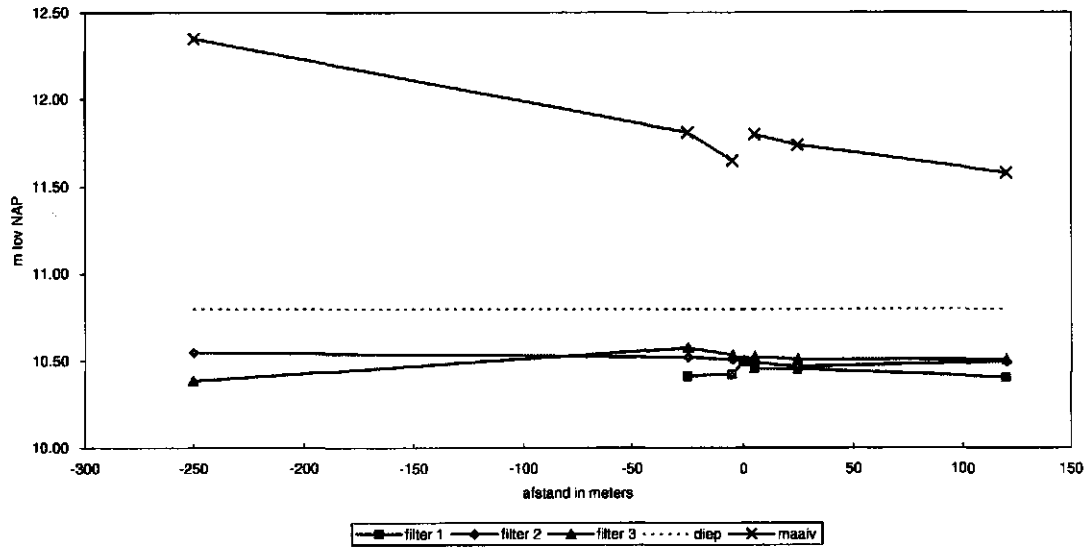


raai 3 op 15-2-97

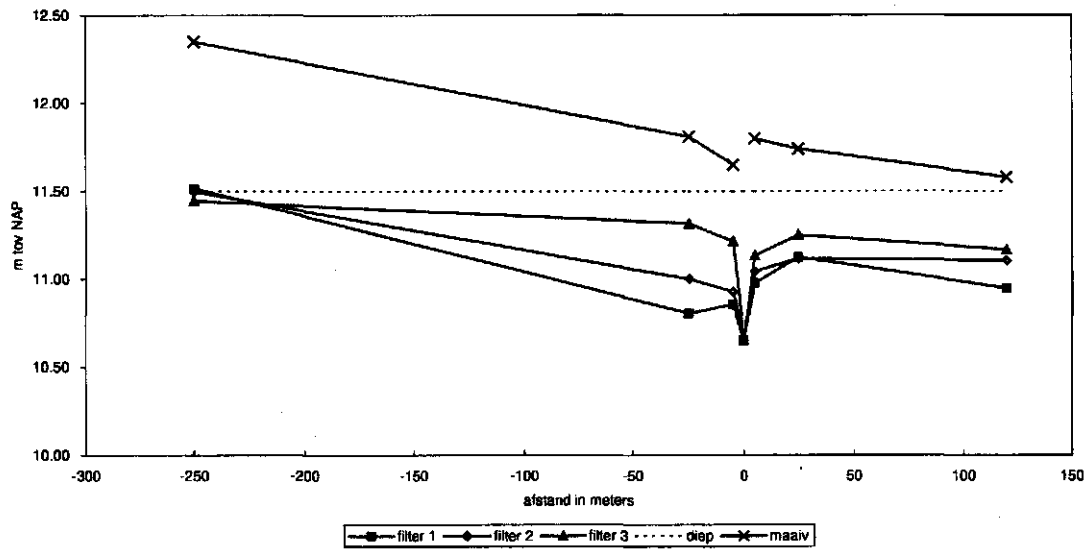


Bijlage 4 Raai 4a

raai 4a op 14-8-96

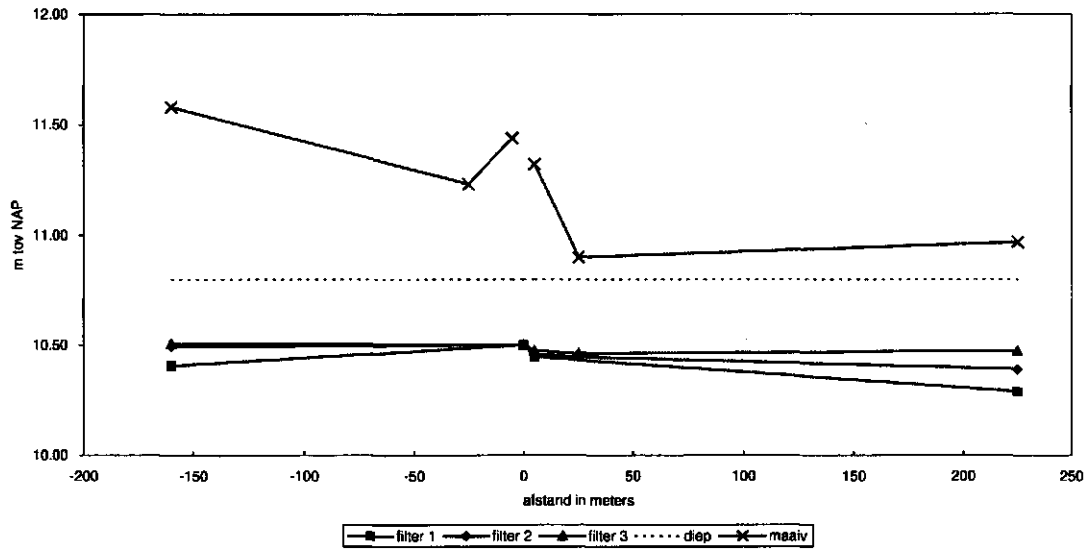


raai 4a op 15-2-97

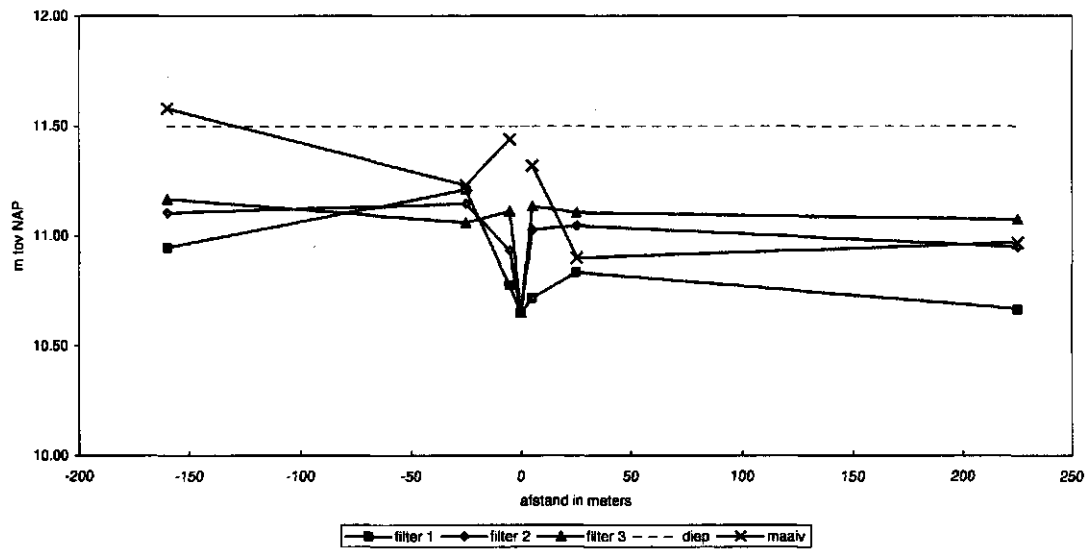


Bijlage 5 Raai 4b

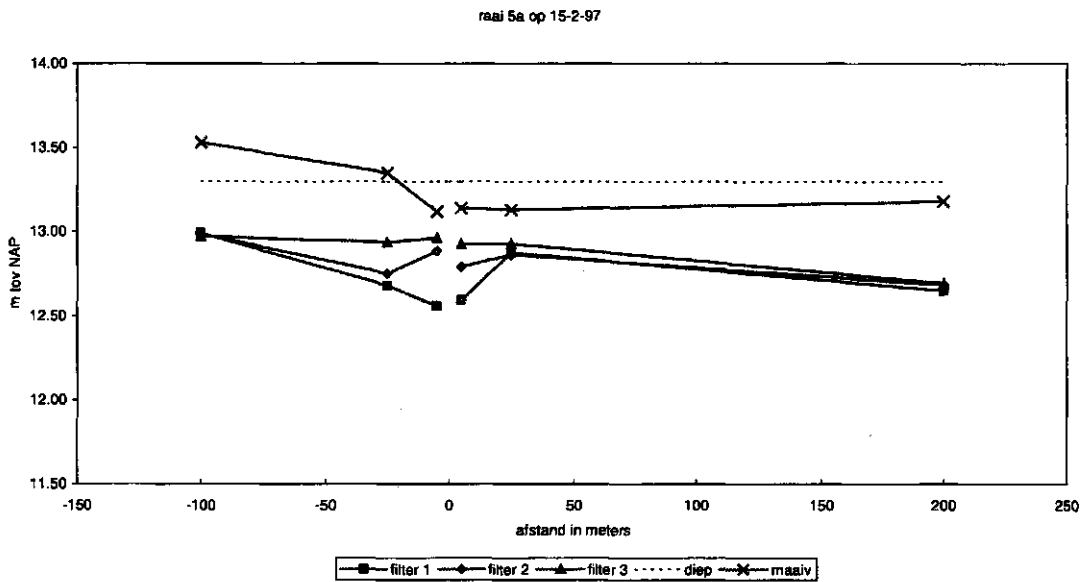
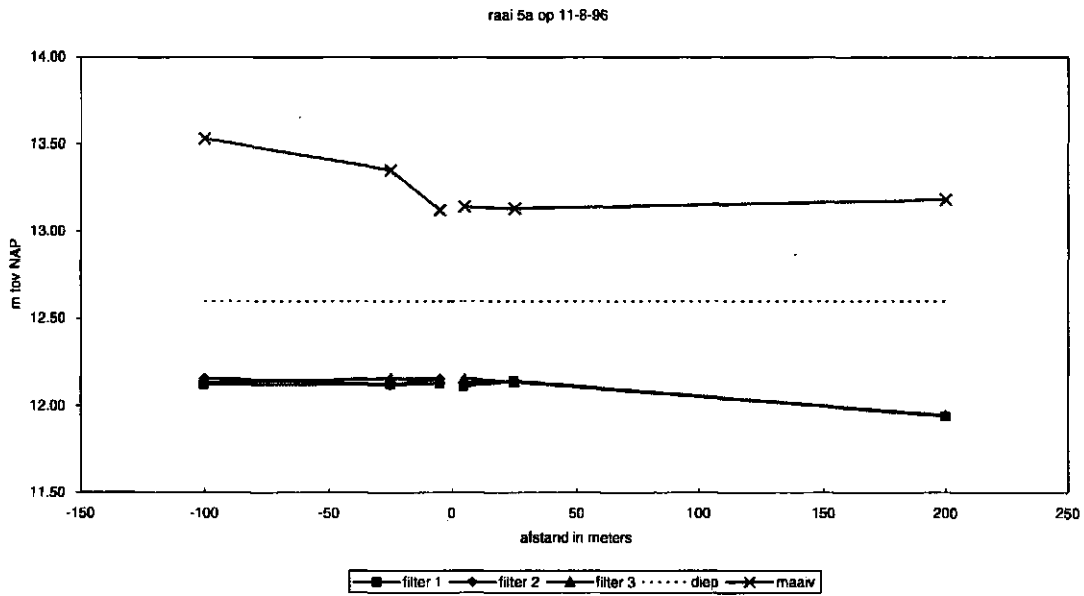
raai 4b op 11-8-96



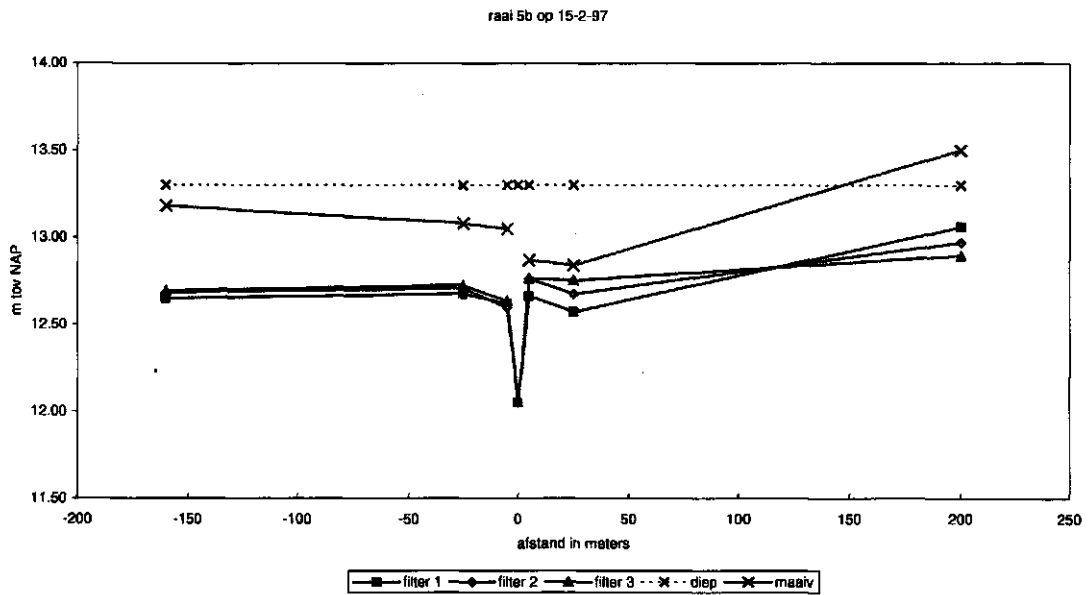
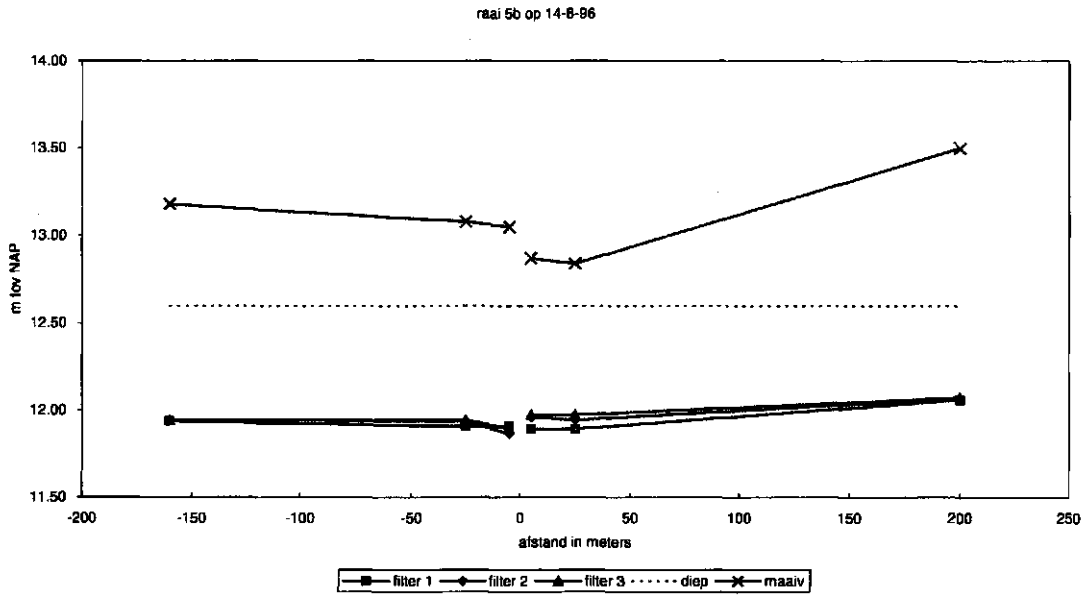
raai 4b op 15-2-97



Bijlage 6 Raai 5a

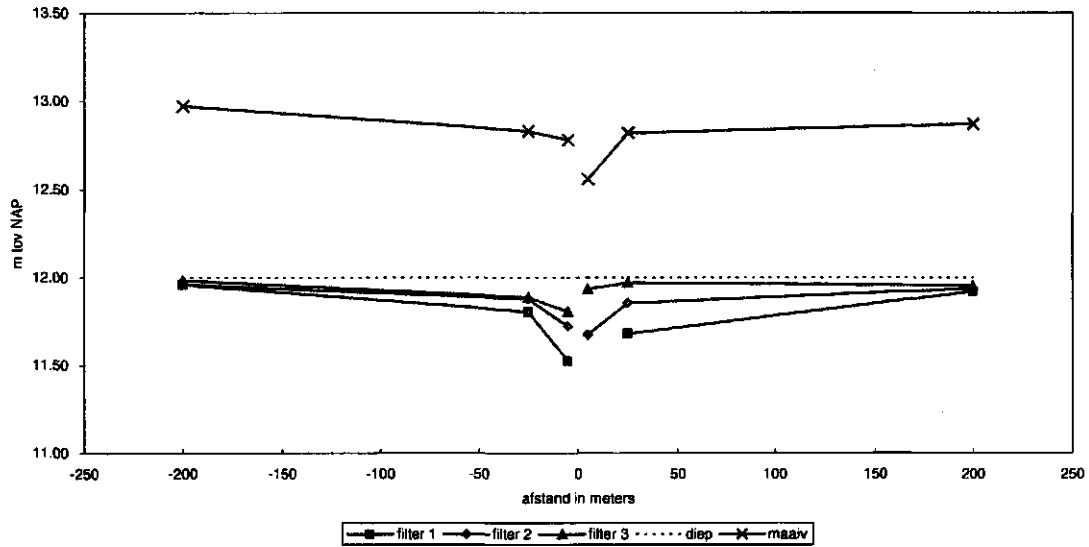


Bijlage 7 Raai 5b

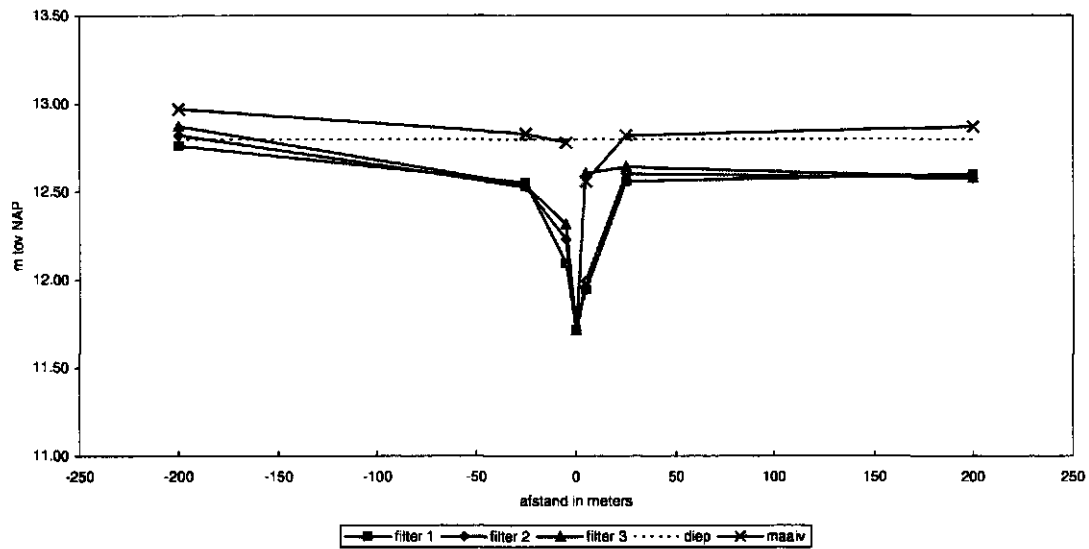


Bijlage 8 Raai 6

raai 6 op 14-8-96

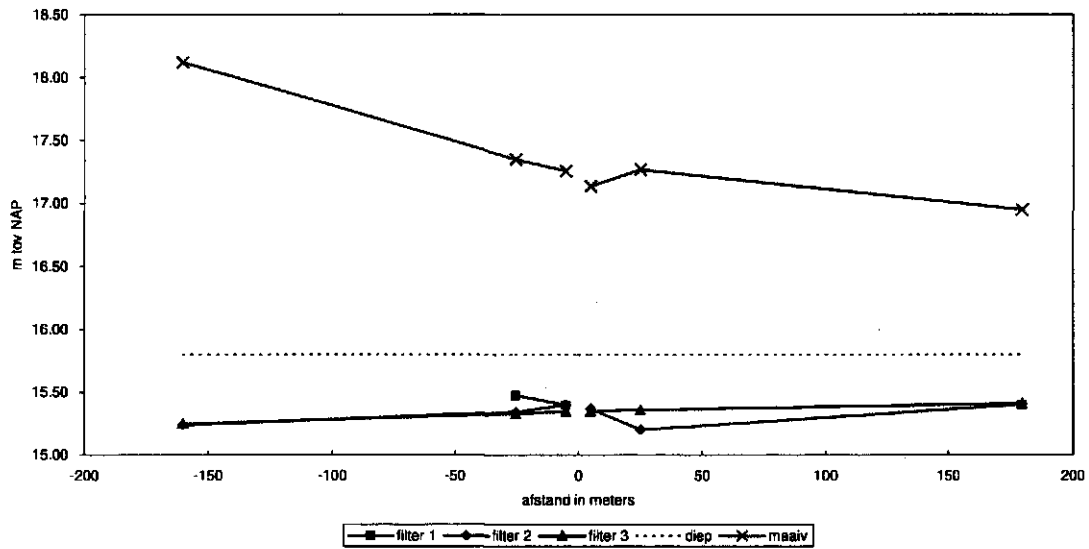


raai 6 op 15-2-97

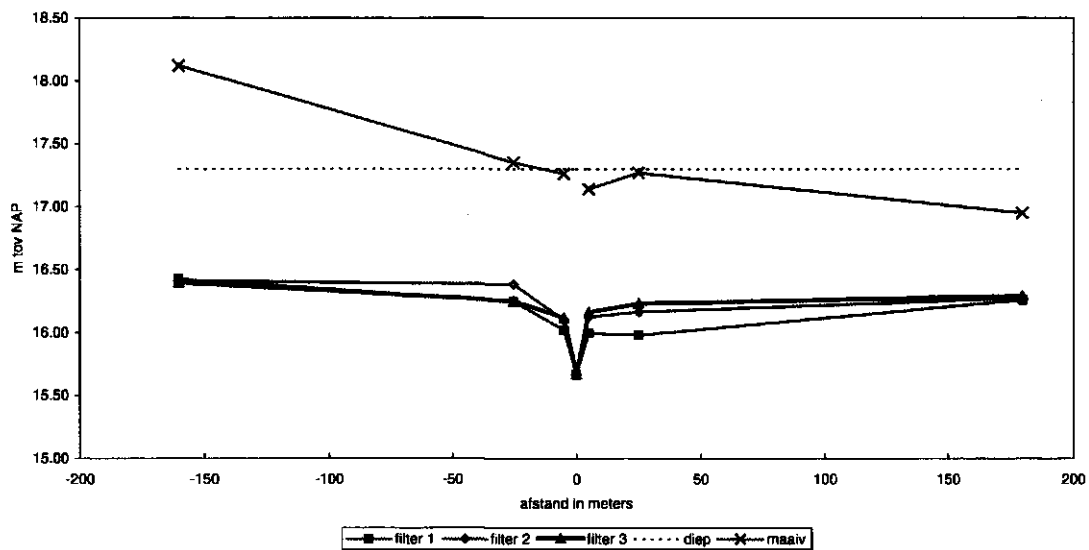


Bijlage 9 Raai 7

raai 7 op 11-8-98

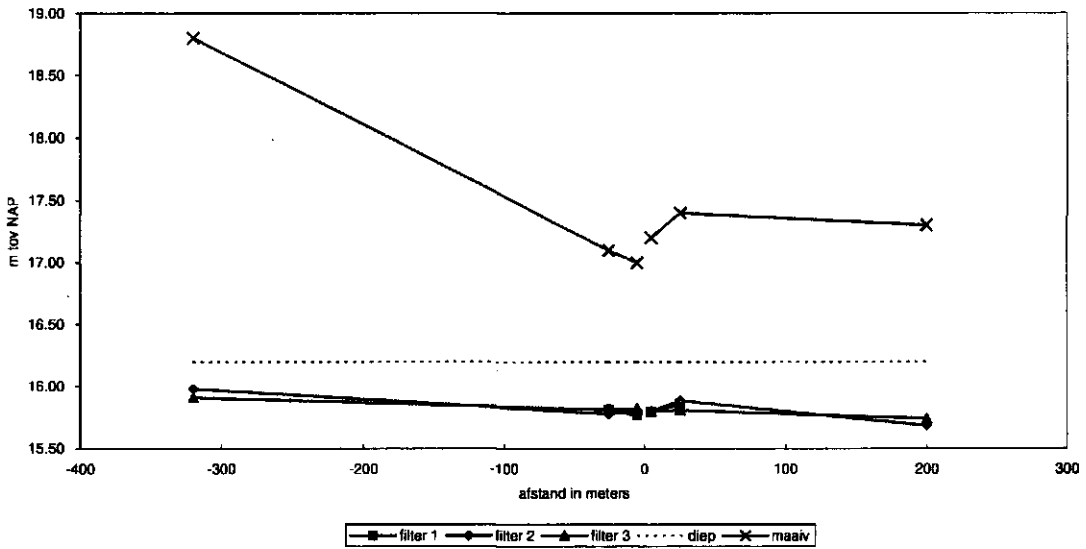


raai 7 op 15-2-97

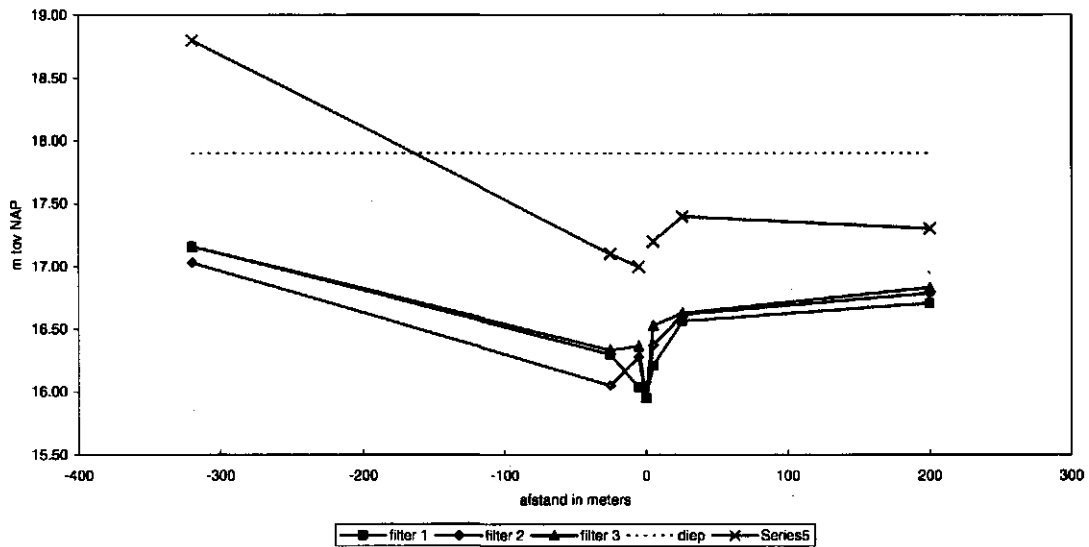


Bijlage 10 Raai 8

raai 8 op 14-8-96



raai 8 op 15-2-97



Bijlage 11 Technische omschrijving van meetpunten De Hilver geplaatst door DLO-Staring Centrum

Meetpunt	coördinaten	filterdiepte tov maaiveld		
		lbb	filter 1	filter2
SC1	136620 x 384480	1.75 - 2.25	5.00 - 6.00	15.00 - 16.00
SC2	138880 x 382980	1.50 - 2.00	19.00 - 20.00	---
SC3	141600 x 381550	1.50 - 2.00	3.00 - 4.00	9.50 - 10.50
SC4	135260 x 389700	2.50 - 3.00	6.00 - 7.00	17.00 - 18.00
SC5	140780 x 389240	1.00 - 1.50	6.50 - 7.50	19.00 - 20.00
SC6	139840 x 390920	1.25 - 1.75	6.00 - 7.00	14.00 - 15.00
SC7	138510 x 394180		2.75 - 3.25	5.00 - 5.50
SC8	142260 x 393320	1.50 - 2.00	6.00 - 7.00	19.00 - 20.00
<hr/>				
L1	136660 x 386380	2.50 - 3.00		
L2	139900 x 382340	2.50 - 3.00		
L3	144440 x 387850	2.50 - 3.00		
L4	144680 x 390200	2.00 - 2.50		
L5	144800 x 391840	2.00 - 2.50		
L6	142800 x 396140	2.50 - 3.00		
L7	niet geplaatst			
L8	135500 x 380440	2.50 - 3.00		
L9	140720 x 387700	2.50 - 3.00		
L10	138860 x 396720	2.50 - 3.00		
<hr/>				
raai 1	141150 x 394350	dit betreft de punten in de raai waar de waterloop wordt gepasseerd		
raai 2	142500 x 393500			
raai 3	141100 x 393550			
raai 4a	140400 x 391700			
raai 4b	140650 x 391600			
raai 5a	138350 x 390300			
raai 5b	138450 x 389950			
raai 6	140550 x 389450			
raai 7	141000 x 386150			
raai 8	138600 x 386350			

vervolg bijlage 11

	NAP-hoogte meetpunten			
	lbb	filter 1	filter2	maaiveld
SC1		23.106	23.078	22.716
SC2	23.003	22.959	----	22.608
SC3	24.368	24.470	24.445	24.005
SC4	17.755	17.822	17.776	17.407
SC5	13.194	13.678	13.650	13.237
SC6	12.504	12.844	12.817	12.461
SC7		13.127	13.106	12.667
SC8	10.896	10.938	10.896	10.565
L1	21.334			20.904
L2	24.254			23.761
L3	17.732			17.308
L4	14.527			13.989
L5	13.488			12.936
L6	10.923			10.452
L7				
L8	30.827			30.434
L9	16.257			15.797
L10	12.018			11.459