NN44018, 2003, 16

WAGENINGEN UNIVERSITEIT
University for Life Sciences

kiwa
Partner for progress

Vennen in schijngrondwatersystemen

Een analyse van venpeilen met het PIRFICT tijdreeksmodel

Bibliotheek Nieuwland
al 11
geningen

NN44018.2003.16

Begeleiders: Flip Witte (WUR)
Camiel Aggenbach (KIWA)
Jos von Asmuth (KIWA)

Oktober 2003
Afstudeervak Ecohydrologie

Danneke Bakker
Regnr. 801119 027 020

NIV Utrecht, 2003.16

Vennen in schijngrondwatersystemen

Een analyse van venpeilen met het PIRFICT tijdreeksmodel

Oktober 2003
Afstudeervak Ecohydrologie

Begeleiders: Flip Witte (WUR)
Camiel Aggenbach (KIWA)
Jos von Asmuth (KIWA)

Danneke Bakker
Regnr. 801119 027 020

1698201

Voorwoord

Voor u ligt het rapport "Vennen in schijngrondwatersystemen. Een analyse van venpeilen met het PIRFICT tijdreeksmodel". Dit rapport is geschreven in het kader van een afstudeerproject Ecohydrologie aan de Wageningen Universiteit. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Kiwa.

Ik heb tijdens het onderzoek veel geleerd over de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen. Daarnaast heb ik meer inzicht verkregen in de mogelijkheid (en moeilijkheid) om de uitkomsten van een tijdreeksanalyse fysisch te interpreteren. Verder heb ik Kiwa als onderzoeksinstituut leren kennen.

Tijdens mijn onderzoek ben ik begeleid door Flip Witte (WUR), Camiel Aggenbach (Kiwa) en Jos von Asmuth (Kiwa). Bij deze wil ik hen hartelijk bedanken voor de begeleiding, het kritische commentaar en de tijd die zij gestoken hebben in het onderzoek.

Daarnaast wil ik ook Kees Maas (Kiwa) bedanken voor de bijdrage die hij geleverd heeft aan het onderzoek en de tijd die hij vrijgemaakt heeft om mij één en ander uit te leggen. Ook wil ik John van den Berg (gemeente Heel) bedanken voor de verschafte informatie en verder iedereen die op welke manier dan ook een bijdrage geleverd heeft aan dit onderzoek.

Danneke Bakker

Oktober 2003, Wageningen

Samenvatting

Vennen in schijngrondwatersystemen zijn gelegen op een slechtdoorlatende bodemlaag. Op de slechtdoorlatende laag is periodiek of permanent een schijngrondwaterspiegel aanwezig. De eigenlijke grondwaterspiegel ligt in deze systemen vaak enkele meters onder de slechtdoorlatende laag. Doordat de ondergrond van deze vensystemen meestal erg complex is, is de ligging en de vorm van de slechtdoorlatende lagen moeilijk te bepalen. Als gevolg hiervan is de grootte van het intrekgebied van het ondiepe schijngrondwater vaak lastig vast te stellen. Deze grootte is echter van belang bij het uitvoeren van beheersmaatregelen ("tot op welke afstand hebben beheersmaatregelen nog effect en wat is het effect?"). De grootte van het intrekgebied lijkt een belangrijke factor te zijn voor de reactie van het venpeil op het neerslagoverschot en voor de mate van uitwisseling tussen het grond- en venwater.

De reactie van het venpeil op het neerslagoverschot is te schatten met het PIRFICT tijdreeksmodel. De vraag is in hoeverre dit tijdreeksmodel aanwijzing geeft over de grootte van het intrekgebied en andere geohydrologische eigenschappen van de vennen.

Om deze vraag te beantwoorden is onderzoek gedaan naar de vennen in de Beegderheide (Limburg). De venpeilen en grondwaterstanden (in totaal 24 meetpunten) van deze vennen, die alle in een schijngrondwatersysteem liggen, zijn met het PIRFICT tijdreeksmodel geanalyseerd. Het resultaat van het PIRFICT model is een responscurve, die gekenmerkt wordt door de parameters *A, a* en *n*.

De parameters *A, a* en *n* hebben geen fysische betekenis, maar kunnen wel fysisch geïnterpreteerd worden. Zo kan uit de parameters onder andere de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie h_j worden berekend. Deze h_j komt in dit onderzoek naar voren als het meest geschikte kenmerk om de responscurven van de vennen onderling te vergelijken.

Uit het onderzoek blijkt dat h_j beïnvloed wordt door verschillende factoren. In de Beegderheide worden de verschillen in h_j tussen de vennen voornamelijk bepaald door de grootte van het schijngrondwatersysteem en de ligging van het ven in dit systeem. Vennen met een relatief kleine h_j liggen in een relatief klein schijngrondwatersysteem en/of dicht bij de rand van het systeem. Vennen met een relatief grote h_j liggen in een relatief groot schijngrondwatersysteem en/of in het midden van het systeem.

De vennen in de Beegderheide kunnen op grond van h_j (en responscurven) onderverdeeld worden in drie groepen: vennen met een relatief kleine, gemiddelde en grote h_j. Gekeken is of deze onderverdeling in drie groepen overeen komt met verschillen in veldkenmerken en met de uitkomsten van een simpele waterbalansbeschouwing. Het blijkt dat bodemprofiel, venvegetatie en de uitkomsten van een simpele waterbalansbeschouwing de verwachte correlatie met h_j laten zien. Het gemeten potentiaalverschil tussen grond- en oppervlaktewater en het gemeten EGV van de vennen vertonen echter geen relatie met h_j. De gemeten verschillen in potentiaal en EGV tussen de vennen in de Beegderheide zijn hiervoor te klein.

De eindconclusie van het onderzoek is dat het met de uitkomsten van het PIRFICT model nog niet mogelijk is om, zonder verdere veldkennis, de grootte van het schijngrondwatersysteem te bepalen. De reactie van het venpeil op een neerslagimpuls is namelijk zowel afhankelijk van de grootte van het systeem als de ligging van het ven in dit systeem. Wel geeft het model inzicht in enkele andere hydrologische eigenschappen van de vennen, zoals de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie, de gemiddelde bergingscoëfficiënt, de reactiesnelheid van het venpeil op een neerslagimpuls en de hoogte van de waterstand bij een oneindig lange constante neerslag van één mm. Verder blijkt verschillen in venvegetatie te zijn gecorreleerd met de uitkomsten van het PIRFICT model. Tenslotte laat het PIRFICT model zien dat de niet-lineairiteit van venpeilen, mits het ven niet geregeld droogvalt, niet groter is dan de niet-lineairiteit van grondwaterstanden.

Dit onderzoek heeft dus geleid tot enkele aanwijzingen over de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen. Mogelijk levert meer onderzoek naar de fysische interpretatie van

het PIRFICT model extra informatie op over deze hydrologie. Ook het onderzoeken van andere gebieden, met meer variatie aan de venvegetatie, hogere EGV-waarden of waar nog meer venpeilen in combinatie met bodemprofielen bekend zijn, kan een bijdrage leveren aan het inzicht in de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen.

Inhoudsopgave

Voorwoord **2**

Samenvatting **3**

1 Inleiding **7**
1.1 Aanleiding 7
1.2 Probleemstelling, doel en onderzoeksvragen 7
1.2.1 Probleemstelling *7*
1.2.2 Doelstelling *7*
1.2.3 Onderzoeksvraag *8*
1.3 Afbakening 8
1.4 Methode 8
1.5 Hoofdstukindeling 9

2 Vennen in schijngrondwatersystemen **10**
2.1 Ontstaanswijze 10
2.2 Hydrologie 11
2.3 Venvegetatie 13

3 Onderzoekslocatie Beegderheide **15**
3.1 Inleiding 15
3.2 Gebiedsbeschrijving 15

4 Menyanthes **16**
4.1 Beschrijving model 16
4.2 Fysische interpretatie van Menyanthes 18
4.3 Methode Menyanthes 19

5 Resultaten & discussie Menyanthes **21**
5.1 Resultaten 21
5.2 Betrouwbaarheid modeluitkomsten 22
5.2.1 Percentage verklaarde variantie *22*
5.2.2 95% betrouwbaarheidsinterval *22*
5.2.3 Autocorrelatie *22*
5.2.4 Conclusie en discussie *23*
5.3 Uitwerking resultaten 25
5.3.1 A *25*
5.3.2 1/(A·a) *26*
5.3.3 n-waarden *27*
5.3.4 Gemiddelde amplitude van de waterstandfluctuatie per jaar *28*
5.3.5 Verhouding tussen het venoppervlak en de grootte van het intrekgebied *29*
5.3.6 Samenvatting *30*

6 Interpretatie resultaten Menyanthes aan de hand van veldkenmerken **31**
6.1 Inleiding 31
6.2 Interpretatie responscurven aan de hand van geohydrologische doorsneden 31
6.2.1 Raai A-A' *31*
6.2.2 Raai B-B' *32*
6.2.3 Raai C-C' *32*
6.3 Potentiaal 33
6.4 EGV 35
6.5 Grootte van het intrekgebied 36
6.6 Venvegetatie 37
6.6.1 Beschrijving van de venvegetatie *37*
6.6.2 Vergelijking met de resultaten van Menyanthes *42*

7 Interpretatie resultaten Menyanthes aan de hand van een waterbalans beschouwing 43
7.1 Inleiding 43
7.2 Waterbalans beschouwing 43
7.3 Vergelijking met de resultaten van Menyanthes 44

8 Discussie, conclusies en aanbevelingen 46
8.1 Discussie 46
8.1.1 Algemeen 46
8.1.2 Resultaten 46
8.1.3 Interpretatie van de resultaten 47
8.2 Conclusies 49
8.3 Aanbevelingen 51

Literatuurlijst 52

Bijlagen 53

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederland kent verscheidene gebieden waar vensystemen aanwezig zijn. Een definitie van vennen is: "vennen zijn van origine veelal hydrologisch geïsoleerde, soms ook met lokaal grondwater gevoede, kleine, veelal ondiepe (<2 m) wateren gelegen op de pleistocene zandgronden in Noord-, Oost-, en Zuid-Nederland" (Iwaco, 2000). In Nederland komen verschillende soorten vensystemen voor.

Veel vennen in Nederland zijn gelegen op een slechtdoorlatende bodemlaag, veelal bestaand uit klei, leem, verkit ijzer of compact organisch materiaal (Aggenbach et al., 1998a). Op deze slechtdoorlatende laag is periodiek of permanent een schijngrondwaterspiegel aanwezig. Onder deze slechtdoorlatende laag ligt een tweede waterspiegel, de eigenlijke grondwaterspiegel. Vennen in zo'n schijngrondwatersysteem worden voornamelijk gevoed door regenwater en soms een beetje door ondiepe (schijn) grondwaterstroming.

De ondergrond van deze vensystemen is meestal erg complex en hierdoor is de ligging en de vorm van de slechtdoorlatende lagen moeilijk te bepalen. Als gevolg hiervan is de grootte van het intrekgebied van het ondiepe schijngrondwater vaak lastig vast te stellen. De grootte van het intrekgebied lijkt echter wel een belangrijke factor te zijn voor de reactie van het venpeil op het neerslagoverschot en voor de mate van uitwisseling tussen het grond- en venwater.
Ook andere factoren spelen hierbij hun rol, te denken valt aan de dikte van het freatisch pakket, de mate van verdamping, de mate van wegzijging naar de diepe ondergrond (Aggenbach et al., 1998b) en de vorm van het ven (Van Dam et al., 1996).

Op Kiwa is het computerprogramma Menyanthes ontwikkeld om, met behulp van tijdreeksanalyse, de reactie van de grondwaterspiegel (of het venpeil) op impulsen van het neerslagoverschot te schatten (Kruithof, 2001). Hiertoe zijn in Menyanthes het PIRFICT model en het transfer-ruis model van Box en Jenkins opgenomen (Von Asmuth et al., 2001). Het resultaat van Menyanthes is onder andere een responsfunctie, die inzicht verschaft in de hydrologische dynamiek van vennen (responstijd en responssterkte).

1.2 Probleemstelling, doel en onderzoeksvragen

1.2.1 Probleemstelling

Op veel plaatsen in Nederland is de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen aangetast, waarbij verdroging door aanplant van (naald)bos (door een vergrootte verdamping) vanaf eind 19^{e} eeuw een groot probleem wordt geacht (Aggenbach et al., 1998a). Ook andere ingrepen in en in de omgeving van vennen, zoals het graven van greppels en de aanleg van wegen etcetera kunnen effect hebben op de hydrologie van schijngrondwatervennen. Ten behoeve van het herstel van de hydrologie in deze vennen is het noodzakelijk kennis te hebben van de grootte van het intrekgebied en de manier waarop het ven in contact staat met de omgeving ("tot op welke afstand hebben herstelmaatregelen nog effect en wat is het effect").

Zoals in hoofdstuk 1.1 beschreven is, blijkt de grootte van het schijngrondwatersysteem en de mate van uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater van schijngrondwatervennen, door de complexiteit van de bodem, moeilijk te bepalen te zijn. Extra informatie over deze twee factoren is dus zeer gewenst. De vraag is daarom of tijdreeksanalyse met het PIRFICT model hierover meer inzicht kan verschaffen, zonder dat uitgebreid geohydrologisch onderzoek noodzakelijk is.

1.2.2 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is om met behulp van tijdreeksanalyse meer inzicht te verkrijgen in de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen.

1.2.3 *Onderzoeksvraag*

De twee hoofdonderzoeksvragen zijn:

- Wat zeggen de resultaten van het PIRFICT model over de geohydrologische eigenschappen van schijngrondwatervennen.
- In hoeverre kan de mate van uitwisseling van water met de omgeving en de grootte van het intrekgebied van vennen in schijngrondwatersystemen bepaald worden aan de hand van tijdreeksanalyse met Menyanthes van venpeilen.

Hiertoe zijn enkele subonderzoeksvragen geformuleerd:

1. Levert de tijdreeksanalyse van venpeilen informatie over de geohydrologische eigenschappen van het vensysteem, zoals de verhouding tussen het grond- en oppervlaktewater en het niet lineaire gedrag van vennen?
2. Is met behulp van tijdreeksanalyse de verhouding tussen het venoppervlak en het oppervlak van het schijngrondwatersysteem te bepalen?
3. Hoe houden de karakteristieken van de impuls-responsfuncties, zoals gebruikt in Menyanthes, verband met de venvegetatie?
4. In hoeverre levert een simpele beschouwing van de waterbalans informatie op over de hydrologische eigenschappen van het vensysteem en zijn intrekgebied en in hoeverre komt dit overeen met de resultaten uit het PIRFICT model?

1.3 Afbakening

Het onderzoek richt zich op 33 reeds goed onderzochte vennen. De vennen liggen alle in schijngrondwatersystemen van de Beegderheide in de provincie Limburg.

In dit onderzoek zal geen uitgebreide fysische modellering plaatsvinden. De aandacht gaat uit naar de resultaten van het impuls-respons model PIRFICT en deze resultaten zullen worden vergeleken met venvegetatiegegevens, aangevuld met gegevens over topologie, bodemeigenschappen en een beschouwing van de waterbalans.

1.4 Methode

Figuur 1.1 geeft een overzicht van de gehanteerde werkwijze. Het onderzoek is gestart met een literatuuronderzoek om te bepalen hoe de uitkomsten van het PIRFICT model fysisch te interpreteren zijn en wat hieruit af te leiden is over de hydrologie van vennen.

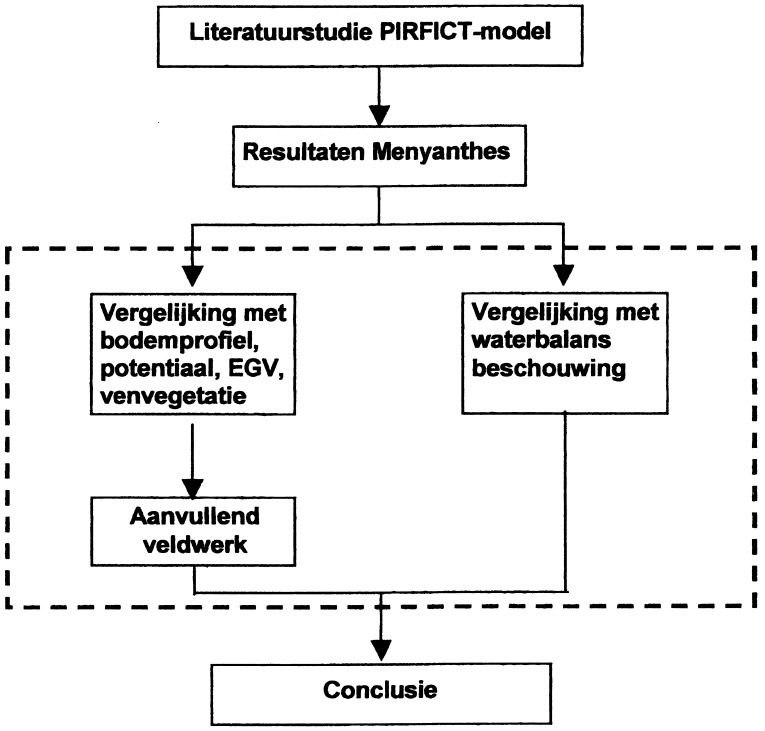


Fig. 1.1. Overzicht van de gehanteerde werkwijze.

Vervolgens zijn de beschikbare venpeilen en grondwaterstanden van de vennen op de Beegderheide in combinatie met de neerslag- en verdampingsgegevens van respectievelijk de meteostations Roermond en Eindhoven in Menyanthes geanalyseerd. Voor de methode van deze analyse in Menyanthes wordt verwezen naar hoofdstuk 4.3. De verkregen uitkomsten zijn aan een betrouwbaarheidsanalyse onderworpen, waarna de resultaten uitgedrukt zijn in vijf kenmerken.

Deze kenmerken zijn vervolgens vergeleken met beschikbare geohydrologische doorsneden (Aggenbach et al., 1998a). Ook zijn de kenmerken vergeleken met het potentiaalverschil tussen het grondwater en het oppervlaktewater en het EGV (Electrisch GeleidingsVermogen, maat voor de hoeveelheid ionen) van het venwater. Hiertoe is op 19 juli 2003 in alle vennen met een potentiaalsonde het verschil tussen de potentiaal van het grondwater en het oppervlaktewater bepaald en is in alle vennen het EGV gemeten. Daarnaast zijn de kenmerken vergeleken met gegevens over de venvegetatie. Deze gegevens zijn ontleend aan de uitgebreide flora- en fauna- inventarisatie die in 2001 is uitgevoerd door Natuurprojectenbureau stichting 'De Lierelei' in opdracht van de Gemeente Heel en Bosgroep Zuid Nederland (Heijligers et al., 2001). De kenmerken zijn verder vergeleken met een simpele waterbalansbeschouwing.

Tenslotte zijn uit de verschillende vergelijkingen conclusies getrokken.

1.5 Hoofdstukindeling

Het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 2) geeft een korte beschrijving over de ontstaanswijze en de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen. Daarna wordt in hoofdstuk 3 een overzicht gegeven van de onderzoekslocatie Beegderheide en wordt beargumenteerd waarom voor deze locatie gekozen is.

Hoofdstuk 4 beschrijft het computerprogramma Menyanthes en de fysische interpretatie van de resultaten van het PIRFICT model. In hoofdstuk 5 zijn vervolgens de resultaten van de analyse van de venpeilen en grondwaterstanden in Menyanthes opgenomen.

Hoofdstuk 6 geeft de vergelijking tussen de resultaten van Menyanthes en verschillende veldkenmerken: bodemprofiel, potentiaal, EGV en venvegetatite. De vergelijking tussen de resultaten van Menyanthes en een simpele waterbalansbeschouwing is opgenomen in hoofdstuk 7.

Hoofdstuk 8 geeft tenslotte de discussie (synthese), de eindconclusies en enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Vennen in schijngrondwatersystemen

2.1 Ontstaanswijze

Vennen liggen vaak in een laagte in het landschap, die op uiteenlopende manieren kan zijn ontstaan. De meest natuurlijke manier is erosie. De laagten zijn dan gevormd door wind, rivieren of gletschers. Ook heeft de mens vaak direct of indirect invloed op het ontstaan van vennen. Zo heeft houtkap, beweiding en afplaggen van de heide geleid tot het verdwijnen van de vegetatie, wat op zijn beurt geleid heeft tot een verstuiving van het zand. Hierdoor ontstond een landschap met ruggen, stuifzandduinen en vaak langgerekte uitstuivingsvlakten, waar de vennen konden ontstaan. Daarnaast zijn sommige vennen na verlanding van het ven weer opnieuw uitgegraven door de mens.

In de bodem van de gebieden met een schijngrondwatersysteem is vaak een slechtdoorlatende laag aanwezig. Deze laag bestaat veelal uit klei, leem, verkit ijzer of compact organisch materiaal (Aggenbach et al., 1998b).

De slechtdoorlatende leem of kleilaag is ontstaan door verschillende afzettingen in de laatste ijstijd (Würmijstijd). In deze ijstijd bereikte het landijs Nederland niet, maar was in Nederland een toendralandschap met schaarse begroeiing en een permanent bevroren bodem (permafrost) aanwezig. De afzettingen in deze periode zijn onder te verdelen in eolische, fluvioperiglaciale en fluviatiele afzettingen. Eolische afzettingen zijn afzettingen door de wind en bestaan veelal uit goeddoorlatende fijne tot matig fijne zanden. Aan het einde van de Würmijstijd werd in een groot deel van Nederland een "deken" van deze eolische zanden afgezet, de zogenaamde dekzanden (Aggenbach et al., 1998a). In de zomers van de ijstijd ontdooiden de bovenste decimeters van de permafrost en ontstonden op veel plaatsen smeltwaterstromen. Deze periodieke smeltwaterstromen zijn verantwoordelijk voor de fluvioglaciale afzettingen, die grover van textuur en minder goed gesorteerd zijn dan de eolische afzettingen. Deze afzettingen zijn in de ondergrond te vinden als (slechtdoorlatende) leemlaagjes en lemig zand. De fluviatiele afzettingen tenslotte zijn in de Würmijstijd door de Maas afgezet. Ook deze afzetting is grover van textuur dan de eolische afzettingen en uit zich in een (slechtdoorlatende) leemlaag op grove zanden. In de periode die volgde op de Würmijstijd (Holoceen) trad een klimaatsverbetering op waardoor de permafrost verdween. Overal trad bodemvorming op. Ook ontstond, na het verdwijnen van de vegetatie (door houtkap, afplaggen van de heide etc.) het zogenaamde 'secundaire' stuifzand, dat op sommige plaatsen het dekzand bedekte.

Slechtdoorlatende lagen bestaande uit verkit ijzer zijn ontstaan in de periode vanaf de Middeleeuwen tot heden. Vanaf de Middeleeuwen gebruikte de mens gedurende enige eeuwen de heidevelden voor het weiden van schapen en het afplaggen van strooisel voor de potstal. De heidevegetaties leveren een moeilijk afbreekbare zure humus, die zandmineralen aantast, waardoor ijzer in de bodem wordt vrijgemaakt. Onder de heiden vormt zich dan een compacte zwarte laag, waar deze humus en het meegevoerde ijzer zich ophopen. Deze inspoelingslaag heeft een geringere doorlatendheid dan de laag eronder. Water verzamelt zich in deze laag en stroomt pas dieper als de laag bijna verzadigd is. In de inspoelingslaag ontstaat dan een anaëroob milieu, waardoor het aanwezige ijzer in oplossing gaat en neerslaat aan de bovenzijde van de beter doorluchte laag eronder. Door ophoping van het ijzer kan een enkele millimeters dik ijzerbandje (ironpan) ontstaan (Dekker et al., 1997 volgens Aggenbach et al., 1998a), waarop infiltrerend regenwater stagneert. Onder vennen verplaatst dit ijzerlaagje zich naar beneden, waardoor ze dieper komen te liggen dan in de omgeving.

Tenslotte kan regenwater ook stagneren in een ven door ophoping van fijn organisch materiaal op de venbodem. Dit fijn organisch materiaal wordt bij hevige regenval na droogte via oppervlakkige afstroming richting de vennen vervoerd.

2.2 Hydrologie

Vennen in schijngrondwatersystemen worden deels gevoed door regenwater en deels door lokaal grondwater. In dit rapport worden de hydrologische eigenschappen van de vennen en het grondwater uitgedrukt als de venpeil- en grondwaterstandamplitude en de reactietijd van het venpeil en de grondwaterstand. Met amplitude wordt de helft van het verschil tussen het gemiddeld hoogste en laagste venpeil (GHG-GLG)/2 bedoeld. De reactietijd staat voor het faseverschil tussen de neerslagimpuls en de piekreactie van het venpeil of de grondwaterstand.

De processen die ten grondslag liggen aan de venpeil- en grondwaterstandamplitude en de reactiesnelheid van het venpeil en de grondwaterstand, worden in deze paragraaf besproken. Allereerst wordt een algemeen beeld geschetst van de hydrologische eigenschappen van het grondwater. Hiervoor wordt een zogenaamd drainagesysteem, zoals voorgesteld door onder andere Kraijenhoff van de Leur (1958, volgens Van Hoorn, 1994), beschouwd. Vervolgens wordt dit algemene beeld toegepast op het schijngrondwatersysteem met vennen.

Drainagesysteem

De stromingsdichtheid op een bepaald punt in een gebied dat gedraineerd wordt (figuur 2.1), hangt af van de totale weerstand tegen stroming naar de ontwateringsmiddelen. Hoe groter de weerstand is, hoe groter de grondwaterstandamplitude en de reactietijd van de grondwaterstand is. Deze weerstand is groot als de afstand tot het dichtstbijzijnde drainagemiddel groot is en de doorlatendheid (*k*) en de dikte van het watervoerend pakket (*D*) klein zijn. Daarnaast is de grondwaterstandamplitude groot als de bergingscoëfficiënt klein is.

Tevens heeft de dikte van de onverzadigde zone invloed op de hydrologische eigenschappen van het grondwater, doordat door de onverzadigde zone een dispersie van de neerslagimpuls optreedt. De reactietijd van de grondwaterstand neemt daardoor toe en de grondwaterstandamplitude af.

Ook wordt de reactietijd beïnvloed door het principe van de onevenredige afstroming. Dit principe houdt in dat het verband tussen grondwaterstand en afvoer in de tijd niet rechtlijnig verloopt, maar volgens een kromme. Dit is het gevolg van het feit dat de grondwaterstand vlak na een neerslagimpuls niet het parabolische of elliptische verloop heeft zoals in de stationaire toestand, maar deze toestand geleidelijk benaderd (Van Hoorn, 1994). Door dit principe is de reactietijd positief gecorreleerd met de afstand tot het dichtstbijzijnde drainagemiddel en de weerstand tegen stroming naar het ontwateringsmiddel.

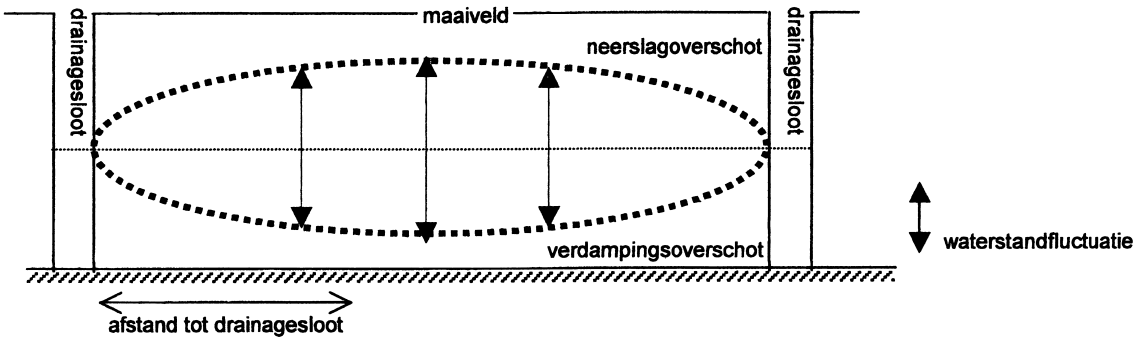


Fig. 2.1. Schematische voorstelling van de waterstanddynamiek in een gedraineerd gebied.

Schijngrondwatersysteem met vennen

Een schijngrondwatersysteem kan voorgesteld worden als het hierboven beschreven drainagesysteem met, in plaats van drainagesloten, een constant peil op de rand van het systeem. De hydrologische eigenschappen van de vennen, die gesuperponeerd in dit schijngrondwatersysteem liggen, worden deels bepaald door de hydrologische eigenschappen van het totale schijngrondwatersysteem en deels door de hydrologische eigenschappen van het lokale vensysteem. Figuur 2.2 geeft een schematische voorstelling.

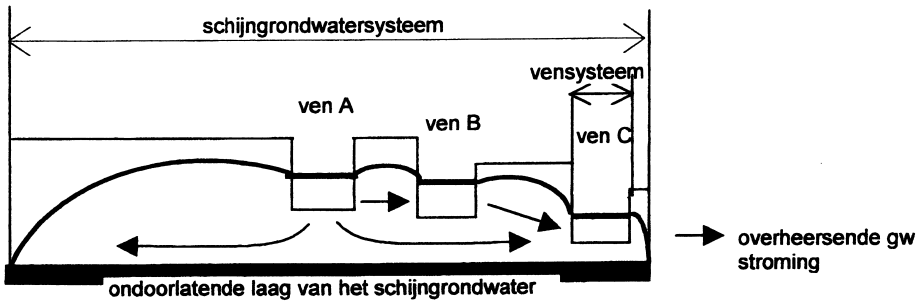


Fig. 2.2. Schematische voorstelling van drie vennen in een schijngrondwatersysteem.

Mits de invloed van de vennen buiten beschouwing wordt gelaten, is de stromingsdichtheid van het totale schijngrondwatersysteem, evenals de stromingsdichtheid van het hierboven beschreven drainagesysteem, afhankelijk van de totale weerstand tegen stroming naar de rand van het systeem. Deze weerstand is in het schijngrondwatersysteem afhankelijk van de afstand tussen het ven en de rand van het schijngrondwatersysteem en van de k en D van het schijngrondwatervoerendpakket. Verder is ook in het schijngrondwatersysteem de grondwaterstandamplitude afhankelijk van de bergingscoëfficiënt. Verder bepaalt de dikte van de onverzadigde zone en het principe van de onevenredige afstroming de hydrologische eigenschappen op dezelfde manier als hierboven reeds beschreven is. Daarnaast geldt voor het schijngrondwatersysteem dat ook de grootte van de weerstand van de slechtdoorlatende laag van het schijngrondwatersysteem van belang is. Er kan namelijk, bij een kleine weerstand, mogelijk water wegzijgen naar het diepere grondwater (watervoerend pakket). In natte perioden is deze wegzijging groter dan in droge perioden, waardoor de grondwaterstandamplitude kleiner is bij een kleinere weerstand.

De venpeilamplitude en de reactietijd van het venpeil van de vennen in dit schijngrondwatersysteem worden beïnvloed door bovengenoemde weerstanden, bergingscoëfficiënt en dikte van de onverzadigde zone. Daarnaast heeft het verschil in bergingscoëfficiënt tussen het ven en de omgeving, de in- en uittreeweerstand van de venbodem, de ligging van het ven in het schijngrondwatersysteem en de overige kenmerken van het ven invloed op de vendynamiek. Hieronder worden deze kenmerken kort toegelicht.

Het verschil in bergingscoëfficiënt tussen het ven en de omgeving veroorzaakt een vergroting van de venpeilamplitude en de reactietijd. Doordat de bergingscoefficiënt van de omgeving (zand: $S_2 \approx 0.10$) kleiner is dan die van het ven ($S_1 \approx 1$), geeft eenzelfde hoeveelheid neerslag een grotere peilstijging in de omgeving dan in het ven. Evenzo geeft eenzelfde hoeveelheid verdamping een grotere peildaling in de omgeving dan in het ven. Hierdoor vindt in de winter extra wateraanvoer naar het ven plaats, terwijl in de zomer extra water wordt afgevoerd (figuur 2.3). De vergroting van de venpeilamplitude is het grootst bij een klein venoppervlak en een grote afstand tot de rand van het schijngrondwatersysteem.

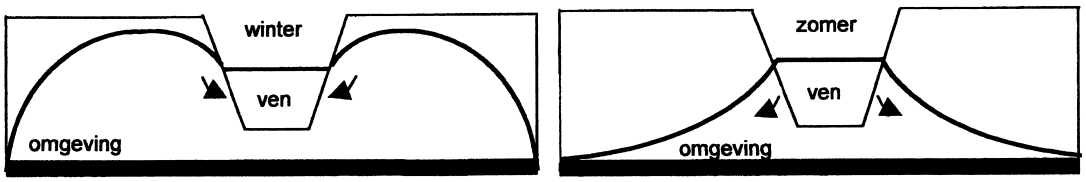


Fig. 2.3. Schematische voorstelling van de vendynamiek.

Een grote in- en uittreeweerstand van de vennen leidt tot een kleinere flux van en naar de omgeving waardoor de venpeilamplitude en de reactietijd afnemen.

Verder is een belangrijke factor, die de grootte van de venpeilamplitude en de reactietijd bepaalt, de ligging van het ven in het schijngrondwatersysteem. Netzoals de reactie van het schijngrondwater op een neerslagimpuls afhankelijk is van de afstand tot de rand van het systeem, is ook de reactie van het venpeil hiervan afhankelijk. Is het ven namelijk in het midden van het systeem gesitueerd, dan is de venpeilamplitude en reactietijd groter dan wanneer het ven aan de rand van het systeem ligt.

Ook de steilheid van het ventalud oefent invloed uit op de venpeilamplitude (bijlage I). Bij een stijl talud is de venpeilamplitude, gegeven dezelfde minimumgrootte van het ven, groter dan bij een flauw talud. Daarnaast kan in de vennen het zogenaamde overloop-effect optreden, doordat de in- en uittreeweerstand van het ven plots kleiner worden. Tenslotte kan het ven ook droogvallen.

Chemische eigenschappen van het venwater
De hydrologie van de vennen bepaalt niet alleen de waterstanddynamiek in de vennen, maar bepaalt ook mede de (chemische) eigenschappen van het venwater, zoals bijvoorbeeld de hoeveelheid opgeloste stoffen. In regenwater zijn namelijk nauwelijks stoffen opgelost (lage EGV), terwijl grondwater (door uitwisseling met de bodem) meer stoffen kan bevatten (hoge EGV). De hoeveelheid en aard van de opgeloste stoffen in het grondwater is vooral afhankelijk van het doorstroomde sediment (kalkarm, kalkrijk) en het grondgebuik (bos- en heidegebied, landbouw). De hoeveelheid opgeloste stoffen bepalen (mede) het bufferend vermogen van het water tegen zuur. Vennen, met de grootste toestromingsflux grondwater, zijn in het algemeen het meest gebufferd. In het schema van figuur 2.2 zal dit ven C zijn. Met andere woorden het ven dat het dichtst bij de rand van het schijngrondwatersysteem gelegen is, is het meest gebufferd.

Analoog aan deze redenering wordt ook de eutrofiegraad (mede) bepaald door de herkomst van het water. De vennen, die voornamelijk gevoed worden door regenwater, zijn vaak zuurder dan vennen die een grote toestromingsflux grondwater hebben. In eerstgenoemde vennen ligt de mineralisatiesnelheid van organisch stof door de lage zuurgraad lager dan in de laatstgenoemde vennen. Hierdoor zijn de vennen, die voornamelijk door regenwater gevoed worden minder eutroof dan vennen, die voornamelijk door grondwater gevoed worden. Daarnaast is de mineralisatiesnelheid bij een grote venpeilamplitude hoger dan bij een kleine venpeilamplitude. In het schema van figuur 2.2 is dan ven C het meest eutrofe ven. Met andere woorden het ven dat het dichtst bij de rand van het schijngrondwatersysteem gelegen is, is het meest eutroof.

2.3 Venvegetatie
Het voorkomen van plantensoorten in een ven is afhankelijk van de kenmerken van de standplaats. In een vensysteem zijn de belangrijkste operationele en conditionele factoren de voedselrijkdom, het waterstandregime, de pH en alkaliniteit (Aggenbach et al., 1998b).

De voedselrijkdom in het ven hangt af van de hoeveelheid input via neerslag, grondwater en oppervlaktewater, de ophoping van organisch materiaal en de biochemische processen die in het organisch materiaal plaats vinden. Daarnaast kunnen natuurlijk ook andere factoren, zoals bos rond een ven (bladinval) invloed hebben op de voedselrijkdom.

Het waterstandregime wordt bepaald door verschillende factoren, zoals in hoofdstuk 2.2 is uiteengezet. Vennen waar veel grondwater naar toestroomt hebben in het algemeen zowel een hogere pH als een lagere alkaliniteit (hoofdstuk 2.2).

Naast bladinval bepaalt bos ook op een andere manier de vegetatie. Bos rond een ven vermindert namelijk de windwerking. In vennen die in een open landschap liggen treedt door windwerking en golfslag waterbeweging op, wat de groei van Veenmos belemmert. Veenmos als verlandingsvegetatie komt dus alleen voor in kleine en/of door bosbeschutte vennen (Aggenbach et al., 1998b).

Verder heeft beïnvloeding door de mens (verstoring) en het successiestadium waarin het ven zich bevindt invloed op de vegetatie. De mens beïnvloedt de venvegetatie door verdroging, verzuring en eutrofiëring van het vensysteem en door het uitvoeren van beheersmaatregelen. Verdroging veroorzaakt een toename van de waterstandfluctuatie en het vaker droogvallen van de vennen (Aggenbach et al., 1998b). In beide gevallen kan Pijpestrootje gaan overheersen. Eutrofiëring leidt vaak tot een overheersing met Pitrus. Door beginnende verzuring en eutrofiëring met $NH4^+$ kan Knolrus zich uitbreiden. Overige plantensoorten die zich onder de desbetreffende verstoring kunnen uitbreiden of vestigen zijn weergegeven in figuur 2.4. Beheersmaatregelen die van 1995 tot 2001 in de Beegderheide zijn uitgevoerd,

zijn bosverwijdering rond de vennen, plaggen, baggeren en schapenbegrazing. Door bosverwijdering wordt de grondwaterstand verhoogd en neemt de waterstandamplitude af (Aggenbach et al., 1998a), waardoor mogelijk verdroging wordt tegengegaan. Door het plaggen en baggeren wordt het ven verarmd (tegengaan van eutrofiëring). Daarnaast begint de successie na het uitvoeren van de maatregelen weer opnieuw (figuur 2.4).

Ook kan de historische activiteit van de mens (bijvoorbeeld het gebruik van het ven als zwemwater) in het schijngrondwatersysteem nog steeds zijn invloed op de venvegetatie weerspiegelen.

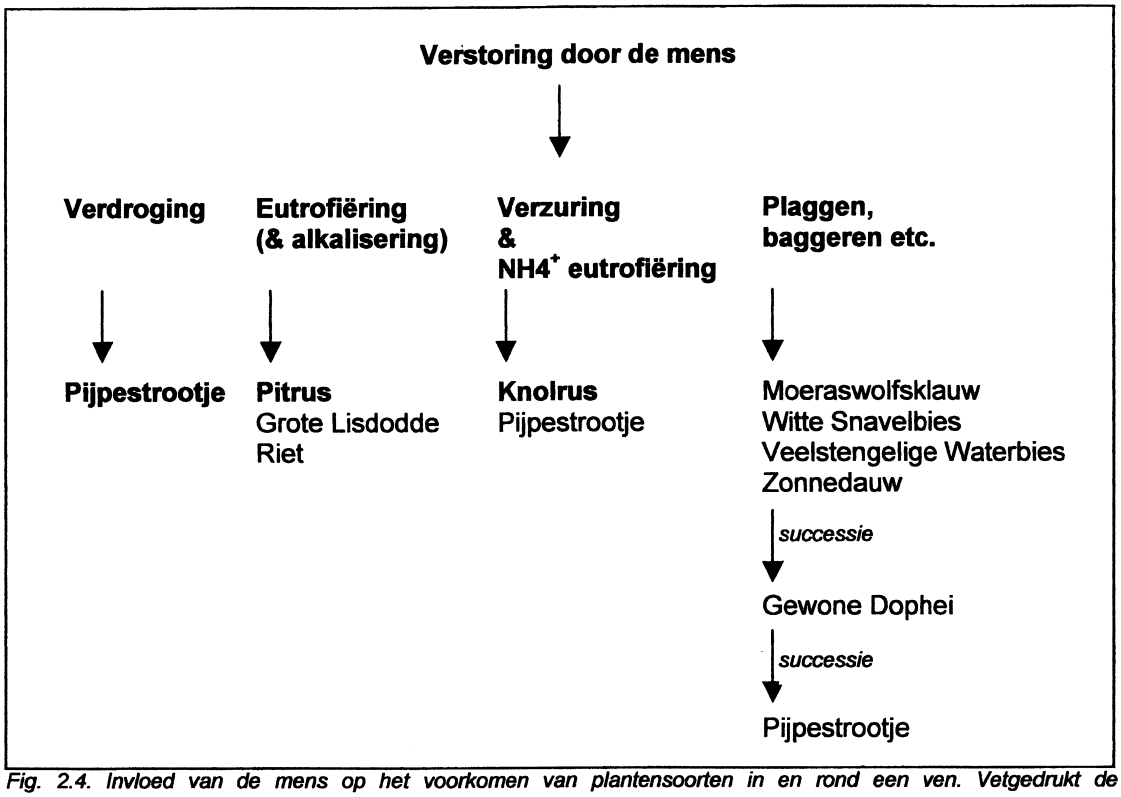


Fig. 2.4. Invloed van de mens op het voorkomen van plantensoorten in en rond een ven. Vetgedrukt de overheersende soort.

3 Onderzoekslocatie Beegderheide

3.1 Inleiding

De Beegderheide is als onderzoekslocatie gekozen omdat het gebied al relatief goed onderzocht is. In dit gebied zijn gedurende vijf tot zes jaar iedere twee weken 24 venpeilen en grondwaterstanden gemeten. Verder zijn een drietal geohydrologische doorsneden (Aggenbach et al., 1998a) beschikbaar en heeft in het gebied een uitgebreide flora en fauna-inventarisatie plaatsgevonden (Heijligers et al., 2001).

3.2 Gebiedsbeschrijving

De Beegderheide is gelegen in de Nederlandse Provincie Limburg, nabij Horn en Beegden. Het gebied is ongeveer 300 ha groot. In dit bos- en heidegebied zijn 33 vennen aanwezig. In bijlage A is een overzicht van deze vennen en de aanwezige peilbuizen opgenomen. In deze bijlage zijn de peilbuizen genummerd (B1, B2 etc.) In het vervolg zullen de peilbuizen met deze nummers worden aangeduid.

De Beegderheide is een hoog gelegen kalkarm dek- en stuifzandgebied. Voor de hydrologie van de vennen is de bovenste 20 m van de bovengrond van belang. De basis bestaat uit Maasafzettingen van grof grind. De bovenste 10 m is afgezet tijdens de laatste ijstijd (Würmijstijd) en bestaat uit eolische en fluvioglaciale afzettingen (hoofdstuk 2.1). De ondergrond bestaat hierdoor voornamelijk uit fijn zand, lemig fijn zand en leemlagen. Daarnaast zijn verkitte ijzerlaagjes aangetroffen (bijlage J, hoofdstuk 6.2).

De hoogte in de Beegderheide variëert van ca. 24 tot 32 m +NAP (Aggenbach et al., 1998a). Opmerkelijk is dat de vennen in de hogere delen van de Beegderheide liggen. In het laagste deel ontbreken vennen en zijn alleen maar droge dennenbossen aanwezig. Het kleinschalige reliëf bestaat uit uitstuivingsvlakten en stuifduinen. In deze uitstuivingsvlakten liggen de meeste vennen. Al deze vennen liggen in een schijngrondwatersysteem op leemlagen en/of verkitte ijzerlagen (Aggenbach et al., 1998a).

4 Menyanthes

4.1 Beschrijving model

In het computerprogramma Menyanthes is het impuls-respons model PIRFICT opgenomen. PIRFICT staat voor Predefined IR Function in Continuous Time. Het model berekent uit neerslag- en verdampingsgegevens de peilen van het grond- en oppervlaktewater.

Omdat de hydrologische praktijk uitwijst dat gegevens vaak niet met een equidistant tijdsinterval zijn gemeten en missende waarden bevatten, worden in het PIRFICT model de neerslag- en verdampingsgegevens continu gemaakt. Hiervoor wordt aangenomen dat de neerslag en verdamping uniform binnen een tijdsinterval zijn. De gesommeerde gegevens (in m, gemeten na een dag, twee dagen, een week etc.) worden vertaald naar intensiteiten (m/dag), waardoor 'blokken' met dezelfde intensiteiten ontstaan. Om vervolgens van deze continue neerslag- en verdampingsintensiteiten tot neerslagoverschotintensiteiten te komen, wordt de volgende formule gehanteerd:

$$p(t) = p_t - f\,E_{act\,t} \qquad \textit{verg. 4.1}$$

$p(t)$ = neerslagoverschot (m/d)
p_t = neerslag op tijdstip t (m/d)
f = reductiefactor (-)
$E_{act\,t}$ = actuele verdamping op tijdstip t (m/d)

Uit deze netto neerslagintensiteiten worden met een blokresponsfunctie grond- en venwaterstanden berekend. De basis van de blokresponsfunctie is een impuls-responsfunctie, die de respons van het grond- en venpeil op een feitelijk instantane impuls van de netto neerslag beschrijft. Deze functie is onveranderlijk in de tijd en karakteristiek voor een bepaald systeem, zolang de fysica van het systeem niet verandert (Von Asmuth et al., 2001).

Bij de afleiding van deze impuls-responsfunctie wordt de bodem opgevat als een serie van gekoppelde lineaire reservoirs (Kruithof, 2001), zoals ook voorgesteld bij de Nash cascade (Nash, 1958 volgens Warmerdam, 1999). Deze lineaire reservoirs hebben in het PIRFICT model dezelfde reservoirconstanten en kunnen daarom in het model worden voorgesteld met een Pearson III verdeling, wat overeenkomt met de algemene formule voor n aantal gelijke lineaire reservoirs in serie (Nash, 1958 volgens Warmerdam, 1999) vermenigvuldigd met een extra parameter A. Deze extra parameter A is in het PIRFICT model toegevoegd om de fluxen, zoals de Nash cascade die berekent, te vertalen naar gemeten waterstandfluctuaties. De vergelijking van de impuls-responsfunctie wordt, zoals al eerder genoemd, voorgesteld door de Pearson III functie:

$$\Theta(t) = \frac{A\,a^n\,t^{n-1}}{\Gamma(n)}\,e^{-at} \qquad \textit{verg. 4.2}$$

θ = responsfunctie (-)
A, n = PearsonIII functie-parameters (-)
a = PearsonIII functie-parameter (d^{-1})
t = tijd (d)
Γ = gamma functie (-)

Afhankelijk van het aantal reservoirs (n) kan de gemodelleerde impulsfunctie verschillende vormen aannemen. Ook de parameters a en A beïnvloeden de vorm van de responscurve (figuur 4.1).

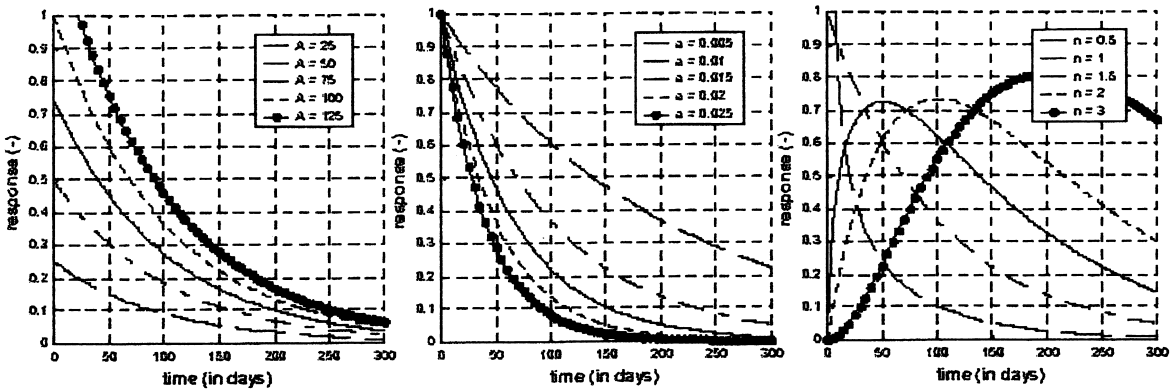


Fig. 4.1. Responscurven bij verschillende parameterwaarden van vergelijking 4.2, links: n=1, a=0.01, midden: n=1, A=1/a, rechts: A=100 ·n, a=0.01 (Von Asmuth et al., in prep).

Als de vorm van de impuls-responsfunctie bekend is, kan hiermee, door convolutie en gebruikmakend van de hierboven beschreven blokintensiteiten neerslag en verdamping, grond- en venwaterpeilen worden bepaald. Voor een enkel lineair reservoir is dit voorgesteld in figuur 4.2. Bij zo'n reservoir geldt dat de neerslag die gevallen is op tijdstip t=0 een grotere invloed heeft op het peil dan de neerslag die gevallen is op tijdstip t=-1,-2 etc.

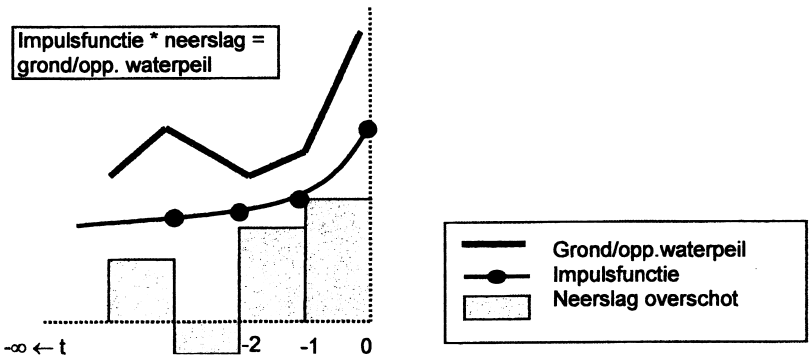


Fig. 4.2. Convolutie proces van een enkel lineair reservoir.

De vorm van de impuls-responsfunctie wordt, zoals al genoemd, bepaald door de parameters *A*, *a* en *n*. Deze parameters worden in Menyanthes iteratief bepaald door de modeluitkomsten te vergelijken met gemeten waterpeilen. Ook wordt in Menyanthes de waarde voor de reductiefactor *f* (vergelijking 4.1) iteratief berekend. De bepaalde waarden voor *A*, *a* en *n* kunnen worden uitgelezen en deze waarden zeggen iets over de hydrologische eigenschappen van het systeem, zoals in hoofdstuk 4.2 zal worden toegelicht.

Tevens kan in Menyanthes de reactie van het ven- en grondwaterpeil op een continue instantane neerslag worden geanalyseerd met de zogenaamde staprespons. De functie van de staprespons bereikt asymptotisch een constant niveau, wat gelijk is aan de parameter *A* en die voorgesteld kan worden als het niveau tot waar het waterpeil stijgt bij een continue instantane neerslaginput van één mm.

De prestatie van het model wordt geanalyseerd aan de hand van het percentage verklaarde variantie en de standaarddeviatie van de gemeten en berekende grond- en oppervlaktewaterpeilen. Ook kan de afhankelijkheid tussen de parameters worden geanalyseerd.

In het model is door gebruik van convolutie en lineaire reservoirs aangenomen dat het vensysteem lineair reageert op een neerslagimpuls. Dit kan in de praktijk echter anders zijn, daar bijvoorbeeld het zogenaamde overloop-effect op kan treden; komt het venpeil boven een bepaald peil uit, dan zal het water vrij kunnen afstromen. Dit is bijvoorbeeld het geval als plots de slechtdoorlatende laag in de bodem ophoudt of het venwater over maaiveld wegstroomt. Ook wanneer sprake is van droogvallen van het ven, treedt niet-lineairiteit op. Bovendien kan,

wanneer het ven wordt gevoed door grondwater, de onverzadigde zone een belangrijke bron van niet-lineairiteit zijn.

4.2 Fysische interpretatie van Menyanthes

De parameters *A*, *a* en *n* hebben geen directe fysische betekenis, maar kunnen wel fysisch worden geïnterpreteerd, en zodoende zeggen deze parameters iets over de hydrologische eigenschappen van het systeem. Voor het drainagesysteem zoals voorgesteld in hoofdstuk 2.2 geldt:

- De parameter *A* kenmerkt de mate van opbolling bij een oneindig lange constante neerslag van 1 mm. *A* wordt groter als de afstand tot het dichtstbijzijnde drainagemiddel groter wordt en de doorlatendheid (*k*) en de dikte van het watervoerend pakket (*D*) kleiner worden.
- De parametercombinatie $1/(A \cdot a)$ kenmerkt de bergingscoëfficiënt. Voor $n=1$ en S=bergingscoëfficiënt is af te leiden dat geldt (Maas, pers. med.) $1/(A \cdot a) = S$. Voor $n>1$ geldt $1/(A \cdot a)>S$.
- De parameter *n* geeft tenslotte het aantal reservoirs, zoals voorgesteld bij de Nash-cascade, weer. Hoe groter *n* hoe groter de vertraging (reactietijd van de grondwaterstand) en dispersie van de neerslagimpuls is. De parameter *n* is groter als de dikte van de onverzadigde zone groter is en hangt tevens nauw samen met het principe van de onevenredige afstroming (hoofdstuk 2.2). Door dit principe van de onevenredige afstroming is *n* positief gecorreleerd met de afstand tot het drainagemiddel en de weerstand tegen stroming naar het ontwateringsmiddel.

Voor het schijngrondwatersysteem geldt dat de parameters *A* en *a* ook afhankelijk zijn van de weerstand van de slechtdoorlatende laag van het schijngrondwatersysteem (hoofdstuk 2.2). *A* wordt groter, terwijl $A \cdot a$ gelijk blijft als deze weerstand toeneemt.

In hoofdstuk 2.2 is uiteengezet dat de reactie van een venpeil op een neerslagimpuls bestaat uit de reactie van het totale schijngrondwatersysteem met daarop gesuperponeerd de reactie van het lokale vensysteem. In de parameters van de responscurven is deze superpositie ook ingesloten. Hieronder volgt kort hoe de parameters door het lokale vensysteem worden beïnvloed. Deze lokale beïnvloeding van de parameters wordt dus gesuperponeerd op bovenstaande beïnvloeding van de parameters in het drainagesysteem (schijngrondwatersysteem).

- De parameter *A* is groter als de in- en uittreeweerstand van het ven groter is.
- De parametercombinatie $1/(A \cdot a)$ (S bij $n=1$) is groter als het verschil in bergingscoëfficiënt tussen het ven en de omgeving kleiner is, de grootte van het schijngrondwatersysteem kleiner is, het venoppervlak groter is, de in- en uittreeweerstand van het ven groter is en het talud van het ven minder stijl is. De verkregen bergingscoëfficiënt ($S=1/(A \cdot a)$ bij $n=1$) kan opgevat worden als een soort gemiddelde bergingscoëfficiënt van het ven en de omgeving.
- De parameter *n* is groter als de reactietijd van het venpeil groter is. Deze reactietijd is groter als de in- en uittreeweerstand van het ven kleiner is, het verschil in bergingscoëfficiënt tussen het ven en de omgeving groter is, de grootteverhouding tussen de omgeving en het ven kleiner is en de weerstand van de omgeving groter is.

Het overloop-effect is in het PIRFICT model niet gemodelleerd, daar uitgegaan is van lineairiteit van het systeem. Mocht dit overloop-effect of andere niet-lineairiteiten (droogvallen ven, invloed onverzadigde zone) in het vensysteem duidelijk aanwezig zijn, dan komt dit tot uiting in een niet goede voorspelling van de extreem hoge en/of extreem lage venpeilen.

Bovengenoemde parameters kunnen weliswaar onafhankelijk geanalyseerd worden, maar daarbij moet zeker het gecombineerde effect van deze drie parameters in gedachten worden gehouden. Een kenmerk van de responscurven waarbij alle parameters opgenomen zijn, is de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie h_j (hoofdstuk 5.3.4).

Bij deze fysische interpretatie en bij de verdere analyse van de resultaten van Menyanthes, is aangenomen dat de in Menyanthes iteratief bepaalde reductiefactor (*f*) een goede maat is voor de actuele verdamping ten opzichte van de referentie verdamping.

4.3 Methode Menyanthes

Met Menyanthes zijn de 24 gemeten tijdreeksen van de waterstand (bijlage A) in de Beegderheide geanalyseerd. Negen peilbuizen daarvan zijn gelegen in vennen. De meeste peilbuizen zijn gemeten gedurende een periode van 5½ jaar, van augustus 1997 tot en met maart 2003. Enkele peilbuizen zijn over een kortere periode gemeten, zoals te zien is in bijlage B. Ook zijn enkele venmeetpunten en grondwatermeetpunten tijdens de meetperiode drooggevallen. De gevonden waarden tijdens het droogvallen zijn voor de analyse in Menyanthes weggelaten. Daarnaast zijn in twee meetreeksen enkele onverklaarbare waarden weggelaten (bijlage C).

Voor de analyse in Menyanthes zijn de neerslaggegevens van het Meteostation Roermond en de verdampingsgegevens van het Meteostation Eindhoven gebruikt. De gebruikte meetperiode hiervoor was januari 1995 tot en met februari 2003. De tijd, voorafgaand aan deze periode was zeer droog. Ook de jaren van 1995 tot 1998 waren erg droog. Het jaar 1998 was een zeer extreem nat jaar en ook de daaropvolgende jaren waren zeer nat. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de gemiddelde jaarhoeveelheden neerslag gedurende de jaren 1995 tot en met 2002.

Tabel 4.1. Jaarsom neerslag in De Bilt voor 1995 – 2002. Ter vergelijking: de langjarig gemiddelde jaarsom neerslag in De Bilt is 803 mm.

Jaar	Jaarsom neerslag *(mm)*
1995	730
1996	576
1997	744
1998	1240
1999	902
2000	932
2001	1039
2002	924

De gebruikte modelparameters in Menyanthes zijn weergegeven in bijlage D. Het is goed op te merken dat de zogenaamde delay time op nul is geplaatst. De delay time is in Menyanthes handmatig te veranderen, waardoor het moment, waarop de respons van de waterstand op de neerslagimpuls begint aanpasbaar is. Door de delay time op nul te zetten, is de aanname gedaan dat een neerslagimpuls een direct effect heeft op het ven- en grondwaterpeil.

De meetpunten zijn geclusterd naar meetpunten in het watervoerend pakket (geen relatie met de vennen), in het schijngrondwater en in de vennen. Het achtervoegsel **ven** houdt in dat het om een venmeetpunt gaat. Het watervoerend pakket bevat vier, het schijngrondwater elf en de vennen negen meetpunten (tabel 4.2).

Tabel 4.2. Clustering meetpunten.

Watervoerend pakket	Schijngrondwater	Ven
B1B	B2A	B9ven
B2B	B4B	B10ven
B4A	B6A2	B11ven
B5B	B10	B14ven
	B15	B15ven
	B17A	B16ven
	B17B	B22ven
	B21	B23ven
	B24	B24ven
	B26	
	B272	

In eerste instantie richt dit onderzoek zich op de analyse van de vensystemen en dus ook op de venmeetpunten. In de volgende hoofdstukken worden echter ook de resultaten van de meetreeksen in het watervoerend pakket en in het schijngrondwater behandeld. Deze meetreeksen kunnen extra informatie opleveren over de grondwaterstroming rond de vennen. Tevens is het zinvol een vergelijking te maken tussen de responscurven van de meetpunten in de vennen en de meetpunten in het watervoerendpakket en het schijngrondwater.

5 Resultaten & discussie Menyanthes

5.1 Resultaten

In bijlage E is een overzicht gegeven van alle resultaten. Figuur 5.1. laat de gevonden responscurven van de vennen zien.

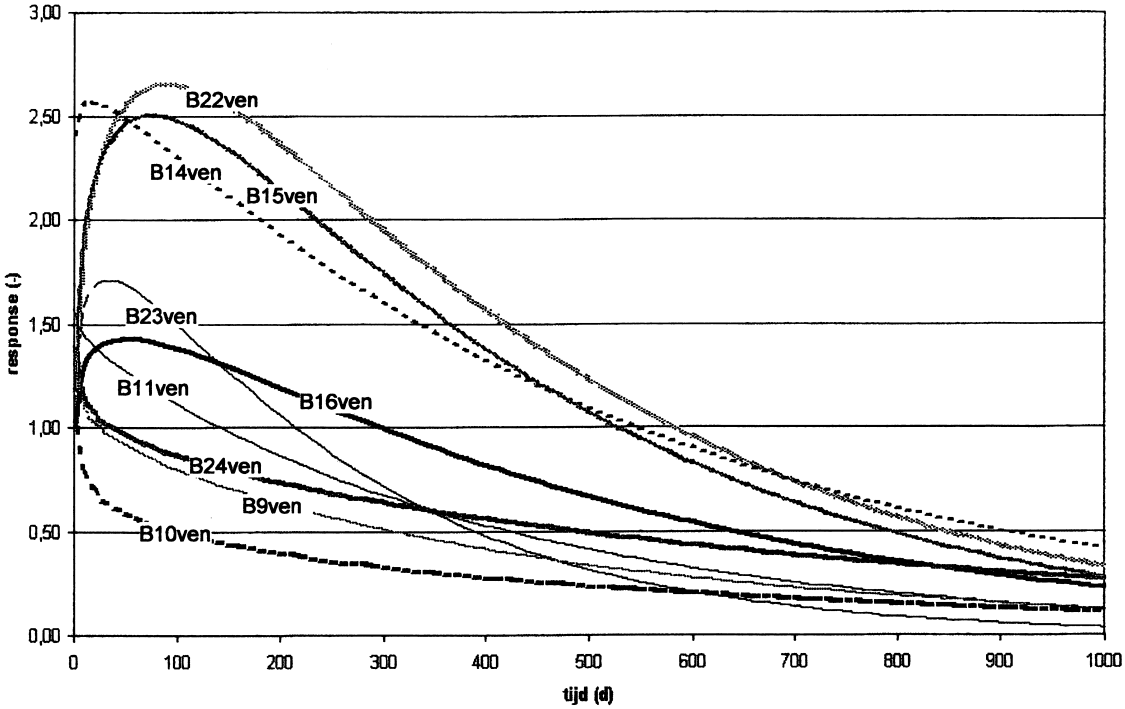


Fig. 5.1. Impulsresponscurven van de venmeetpunten.

Het valt op dat er verschillen zijn in de grootte en de vorm van de responscurven. Een hoge responscurve en een late piek wordt gevonden voor de meetpunten B22ven, B15ven en B14ven. Lage responscurven en een snelle piek worden gevonden voor B10ven, B9ven, B11ven en B24ven. De vorm van deze laatstgenoemde curven lijken ook op elkaar. Meetpunten die hier tussen liggen zijn B16ven en B23ven.

Voor een goede interpretatie van de meetresultaten wordt hierna (hoofdstuk 5.2) allereerst geanalyseerd of de resultaten betrouwbaar zijn. Vervolgens worden, omdat de vorm en grootte van de responscurven bepaald worden door A, $1/(A \cdot a)$ en n, per kenmerk de resultaten behandeld. Verder worden in dit hoofdstuk twee kenmerken behandeld, waarin alle parameters opgenomen zijn (de amplitude van de waterstandfluctuatie per jaar (h_j) en de verhouding tussen het venoppervlak en het oppervlak van het intrekgebied (R_1/R_2). Afsluitend wordt in hoofdstuk 5.3.6 een totaaloverzicht gegeven.

Zoals uit het onderzoek zal blijken is vooral de parameter A sterk gecorreleerd met a (zoals ook blijkt uit het feit dat de parametercombinatie $1/(A \cdot a)$ de bergingscoëfficiënt kenmerkt, hoofdstuk 4.2) . Hierdoor is het moeilijk conclusies te trekken uit die kenmerken waarbij alleen de parameters a en n voorkomen, zoals het eerste en tweede centrale moment (M_1/M_0 en M_2^c) en de time to peak (t_p). Deze kenmerken worden daarom verder niet behandeld.

5.2 Betrouwbaarheid modeluitkomsten

Een overzicht van de betrouwbaarheid van de modeluitkomsten is gegeven in bijlage F. Hierna wordt achtereenvolgens het percentage verklaarde variantie, het 95% betrouwbaarheidsinterval van de parameters *A, a* en *n* en de autocorrelatie besproken, waarna dit kort wordt samengevat en conclusies worden getrokken.

5.2.1 Percentage verklaarde variantie

Het gemiddelde percentage verklaarde variantie van alle meetpunten is 79.7 %. Hier wordt aangenomen dat Menyanthes de waterstanden goed modelleert als een percentage verklaarde variantie groter dan 70% gevonden wordt. Voor 20 van de 24 meetpunten wordt dit percentage gehaald. In 6 gevallen is dit percentage zelfs groter dan 90%. De meetpunten die een percentage verklaarde variantie kleiner dan 70% hebben zijn: B2A (62.7), B4B (58.0), B10 (30.8) en B10ven (49.4).

5.2.2 95% betrouwbaarheidsinterval

Het 95% betrouwbaarheidsinterval van de parameters geeft aan hoe nauwkeurig de parameters geschat kunnen worden. Een klein betrouwbaarheidsinterval komt overeen met een nauwkeurige schatting, een groot betrouwbaarheidsinterval komt overeen met een onnauwkeurige schatting en veel onzekerheid met betrekking tot de juiste waarde.

In tabel 5.1 zijn de 95% betrouwbaarheidsintervallen weergegeven, waarbinnen 19 van de 24 meetpunten liggen.

Tabel 5.1. 95% betrouwbaarheidsinterval van de meeste meetpunten.

parameter	95% betrouwbaarheidsinterval	% van gemiddelde
A	≤ 550	30%
a	≤ 0.003	77%
n	≤ 0.35	29%

Er zijn zeven meetpunten die een groot betrouwbaarheidsinterval voor een van de drie parameters hebben. Dit zijn de meetpunten B4B, B15, B17A (*A*>3900), B17B en B2A (*a*>0.003), B10 en B4A (*a*>0.003 en *n*>*0.35*).

5.2.3 Autocorrelatie

Alle meetpunten zijn geanalyseerd met behulp van de autocorrelatie. De autocorrelatie geeft aan of de aanname klopt dat de innovatiereeks, het verschil tussen berekende en gemeten waterstand, 'witte ruis' is (Von Asmuth et al., 2001). In Menyanthes kan de autocorrelatie uit een grafiek (figuur 5.2) worden afgeleid.

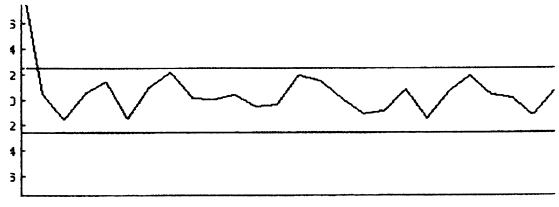


Fig 5.2. Grafiek van de autocorrelatie. De grafiek blijft binnen het aangegeven 95% betrouwbaarheidsinterval.

Voor 18 van de 24 meetpunten geldt dat de autocorrelatie-functie binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval ligt. Dit houdt in dat met 95% zekerheid gezegd kan worden dat voor de meetpunten geldt dat het verschil tussen berekende en gemeten waterstand 'witte ruis' is. De zes overige meetpunten vallen buiten dit betrouwbaarheidsinterval. De meetpunten B9ven, B10, B10ven en B24ven vallen slechts voor een aantal tijdstappen buiten dit interval, terwijl dit voor de meetpunten B15 en B17A frequenter voorkomt.

5.2.4 Conclusie en discussie

Bovenstaande leidt tot de conclusie dat over het algemeen de modeluitkomsten betrouwbaar zijn. Evenals de grondwaterstanden, kan Menyanthes de meeste venpeilen goed beschrijven. Enkele meetpunten lijken echter niet betrouwbaar en geen goede voorspelling te geven (tabel 5.2).

Tabel 5.2. Overzicht betrouwbaarheidsparameters van de afwijkende meetpunten.

	% verkl. variantie	95% betrouwbaarheidsinterval			Autocorrelatie-functie
Meetpunt		**A**	**a**	**n**	
B2A	62.7		0.007		
B4A			0.007	1.18	
B4B	58.0	34151			
B9ven					–
B10	30.8		0.039	0.54	–
B10ven	49.4				–
B15		796752			-
B17A		3901			-
B17B			0.005		
B24ven					–

– *autocorrelatie valt frequent buiten het 95% betr. interval*
- *autocorrelatie valt niet frequent buiten het 95% betr. interval*

De meetpunten B9ven en B24ven vallen bij grote tijdstap net buiten het 95% betrouwbaarheidsinterval van de autocorrelatie. Omdat de overige parameters echter goed geschat kunnen worden en het percentage verklaarde variantie ruim boven 70% ligt, wordt aangenomen dat Menyanthes de peilfluctuatie van deze meetpunten goed beschrijft.

De overige meetpunten zijn nogmaals in een vernieuwde Menyanthes geanalyseerd, waarin vooral het optimalisatie algoritme sterk is verbeterd. De resultaten van deze meetpunten met de vernieuwde Menyanthes zijn weliswaar beter, maar toch nog niet voldoende (tabel 5.3).

Tabel 5.3. Overzicht betrouwbaarheidsparameters van de afwijkende peilbuizen, geanalyseerd met vernieuwde Menyanthes (autocorrelatie is gelijk gebleven).

	% verkl.	95% betrouwbaarheidsinterval		
Meetpunt	**variantie**	***A***	***a***	***n***
B2A	63.4		0.010	
B4A			0.005	0.85
B4B	72.3	7875		
B10	33.8		0.023	0.49
B10ven	49.4			
B15		6694		
B17A		2933		
B17B			0.005	

Omdat de grondwaterstand in peilbuis **B2A** vóór 1999 duidelijk lager is als na 1999 en na 1999 de waterstand om een constante waarde fluctueert, is de meetreeks gesplitst in een periode vóór 1999 en een periode na 1999. Voor beide deelreeksen is een hoger percentage verklaarde variantie gevonden (respectievelijk 87 en 78). Dit lijkt erop te wijzen dat de responscurve voor meetpunt B2A in de periode van 1997 tot 1999 anders is dan na januari 1999. Dit kan komen door de klimatologische verschillen tussen de jaren, waardoor niet-lineairiteit tussen de jaren is opgetreden. De jaren voor 1997 waren namelijk extreem droge jaren (jaarsom neerslag <750 mm). 1998 was een zeer extreem nat jaar (jaarsom neerslag 1240 mm), die gevolgd werd door de relatief natte jaren 1999 tot en met 2002 (jaarsom neerslag > 900 mm) (www.knmi.nl). De responscurve van de meetreeks voor 1999 is groter en vertraagder dan de meetreeks na 1999. De gevonden responscurve voor de hele meetreeks B2A is een gemiddelde van de gevonden responscurven voor de deelreeksen en daarom wordt er verder vanuit gegaan dat de impuls responscurve als gemiddelde juist is.

Meetpunt **B4A** ligt in het watervoerend pakket. Een vergelijking met de andere drie meetpunten in het watervoerend pakket laat zien dat ondanks de grote onzekerheid in *n*-

waarde voor meetpunt B4A, de gevonden responscurve toch vergelijkbaar is met de andere responscurven voor het watervoerend pakket (bijlage E). Het verschil –en het niet goed kunnen schatten van de *n*-waarde- kan voortkomen uit meetfouten (bijvoorbeeld de, in vergelijking met de andere meetpunten in het watervoerend pakket, opmerkelijke piek in september 1998). Er wordt verder vanuit gegaan dat de gevonden waarden voor dit meetpunt B4A correct zijn.

Het valt op dat voor meetpunt **B4B** gedurende de hele periode een stijging van het waterpeil op te merken is, die niet goed door Menyanthes gevolgd kan worden. Ook beschrijft Menyanthes de pieken en dalen van het waterpeil niet goed. De slechtdoorlatende leemlaag boven het filter van dit meetpunt kan hierop invloed hebben, daar zo het zogenaamde overloop effect (hoofdstuk 4.1) op kan treden.

De erg kleine percentage verklaarde variantie (30.8) voor meetpunt **B10** wordt veroorzaakt doordat de hoge peilwaarden in 1998 en de lage waarden niet goed worden voorspeld door Menyanthes. Meetpunt B10 ligt onder een slechtdoorlatende harde laag. Niet-lineairiteit doordat het overloop-effect optreedt kan ook hier het geval zijn.

B10ven is het enige ven dat geregeld droogvalt. De invloed van dit droogvallen is dus groot en hierdoor kan niet-lineairiteit optreden, zodat Menyanthes het venpeil niet goed kan beschrijven, wat resulteert in een klein percentage verklaarde variantie.

B15 heeft een erg groot betrouwbaarheidsinterval voor de parameter *A*. Vooral de meetwaarden voor oktober 2001 worden niet goed beschreven door Menyanthes. Meetpunt B15 vertoont een sterke fluctuatie (verschil hoogste en laagste grondwaterstand na 1998 is 1.74 m), terwijl het op gelijke diepte gelegen meetpunt B17B een veel zwakkere fluctuatie vertoont (verschil hoogste een laagste grondwaterstand 0.65 m). Opmerkelijk is ook dat voor juli 1998 het filter van meetpunt B15 droog stond. De waterstand is hier in één jaar tijd gestegen met meer dan twee meter. Niet-lineairiteit door het overloop effect, door de aanwezigheid van een leemlaag vlak boven het filter, is hier waarschijnlijk opgetreden, waardoor Menyanthes de waterstand niet goed kan benaderen.

Ook **B17A** heeft een groot betrouwbaarheidsinterval voor de parameter *A*. *A* is ook sterk gecorreleerd met *a*, die voor dit meetpunt erg klein is. B17A is gelegen vlak onder een ven, waar de weerstand erg groot is en daardoor moeilijk te schatten. Ook hier kan er sprake zijn van niet-lineairiteit als gevolg van de vele neerslag in 1998. Er is in de hele meetreeks (meetreeks begint in september 1997) een duidelijke stijging van het grondwaterpeil te zien.

B17B heeft een groot betrouwbaarheidsinterval voor de parameter *a*. Ook kan Menyanthes de pieken en dalen niet goed beschrijven. De aanwezige harde laag zorgt hier waarschijnlijk voor niet-lineariteit.

Het blijkt dus dat slechts voor zes meetpunten geldt dat Menyanthes de waterstanden niet goed beschrijft. Dit zijn de meetpunten B4B, B10, B10ven, B15, B17A en B17B. Deze meetpunten zullen in de volgende hoofdstukken weliswaar meegenomen worden, maar daarbij moet wel in gedachten worden gehouden dat er bij deze meetpunten sprake is van niet-lineairiteit, waarmee bij de interpretatie van de resultaten rekening moet worden gehouden. Voor meetpunt B2A en B4A wordt er vanuit gegaan dat de gevonden impulsresponscurven juist zijn.

5.3 Uitwerking resultaten

5.3.1 A

De meeste *A*-waarden liggen tussen 350 en 1500 (figuur 5.3). De drie meetpunten met hogere *A*-waarden hebben een groot 95% betrouwbaarheidsinterval (hoofdstuk 5.2.2). Meetpunt B10 met een lagere *A*-waarde heeft een lage verklaarde variantie en is dus onbetrouwbaar.

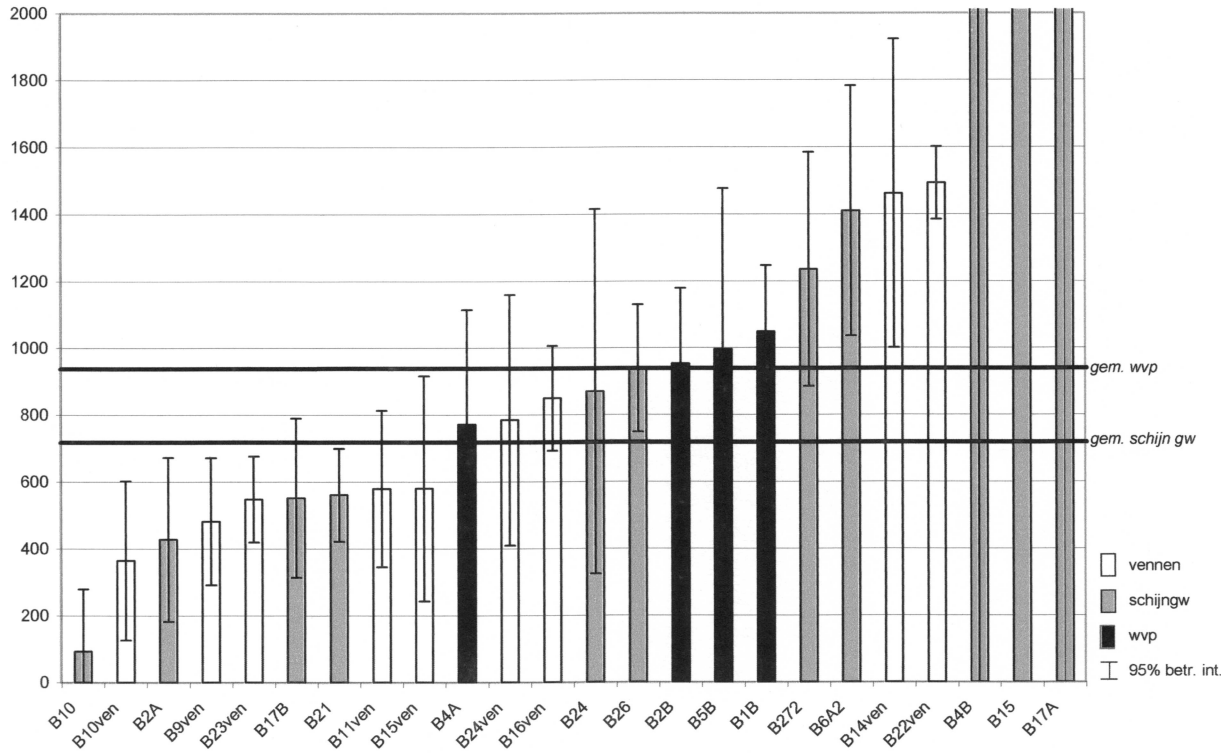


Fig. 5.3. A-waarden van alle meetpunten, oplopend gesorteerd.

Laten we de onbetrouwbare *A*-waarden buiten beschouwing, dan zijn de gemiddelde waarden voor het watervoerend pakket, het schijngrondwater en de vennen respectievelijk 942, 761 en 878. Opvallend lage waarden voor het schijngrondwater worden gevonden voor de meetpunten B2A, B17B en B21.

Het valt op dat vijf venmeetpunten een kleinere *A*-waarde hebben dan de gemiddelde *A*-waarde voor de meetpunten in het schijngrondwater. Twee meetpunten zijn vergelijkbaar met dit gemiddelde en twee venmeetpunten hebben een grotere waarde dan dit gemiddelde en de gemiddelde *A*-waarde van het watervoerende pakket. Hierbij is het opvallend dat de meetpunten B9ven, B10ven en B11ven en B23ven relatief lage *A*-waarden hebben ($A<700$). B14ven en B22ven hebben grote *A*-waarden ($A>1000$).

5.3.2 1/(*A·a*)

Alle 1/(*A·a*)-waarden liggen tussen de 0.06 en 2.11(figuur 5.4).

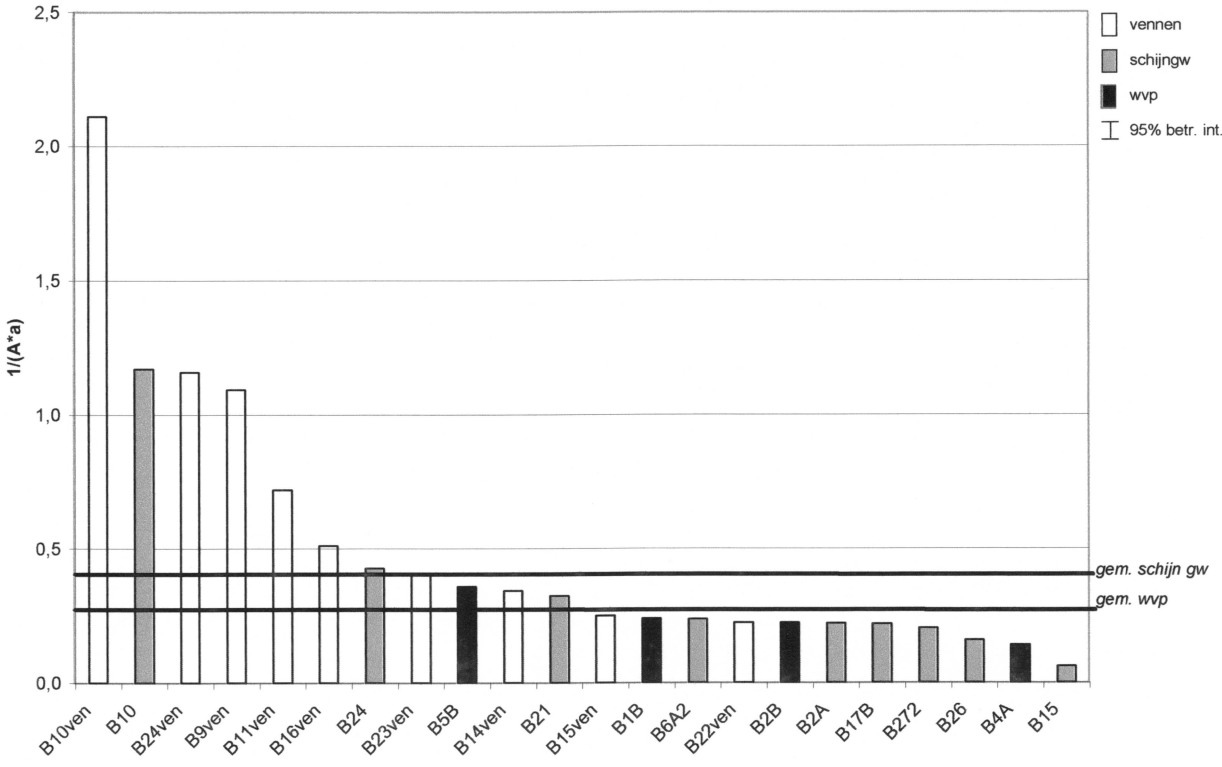


Fig. 5.4. 1/(A·a) van alle meetpunten, aflopend gesorteerd.

De gemiddelde waarden voor het watervoerend pakket, het schijngrondwater en de vennen zijn respectievelijk 0.24, 0.37 en 0.76.

Meetpunt B10ven en B10 hebben een opvallend hoge waarde voor 1/(*A·a*), die verklaard wordt doordat dit meetpunt niet goed voorspeld wordt door Menyanthes (verklaarde variantie: 31%).

Het valt op dat de meeste venmeetpunten een hogere waarde voor 1/(*A·a*) hebben dan het gemiddelde van het schijngrondwater en het watervoerendpakket. Dit houdt in dat de gemiddelde bergingscoëfficiënt van de vennen hoger is dan de gemiddelde bergingscoëfficiënt van het schijngrondwater en het watervoerendpakket. Het blijkt dus dat de bergingscoëffciënt van het ven ($S_1 \approx 1$) voor de meeste vennen de gemiddelde bergingscoëfficiënt sterk beïnvloedt. De meetpunten B14ven, B15ven en B22ven hebben echter lagere waarden voor 1/(*A·a*) dan het gemiddelde van het schijngrondwater en het watervoerende pakket. Bij deze vennen heeft dus juist de bergingscoëfficiënt van de omgeving ($S_2 \approx 0.10$) invloed op de gemiddelde bergingscoëfficiënt.

5.3.3 n-waarden

Alle *n*-waarden liggen tussen 0.5 en 2.5, zoals te zien is in figuur 5.5.

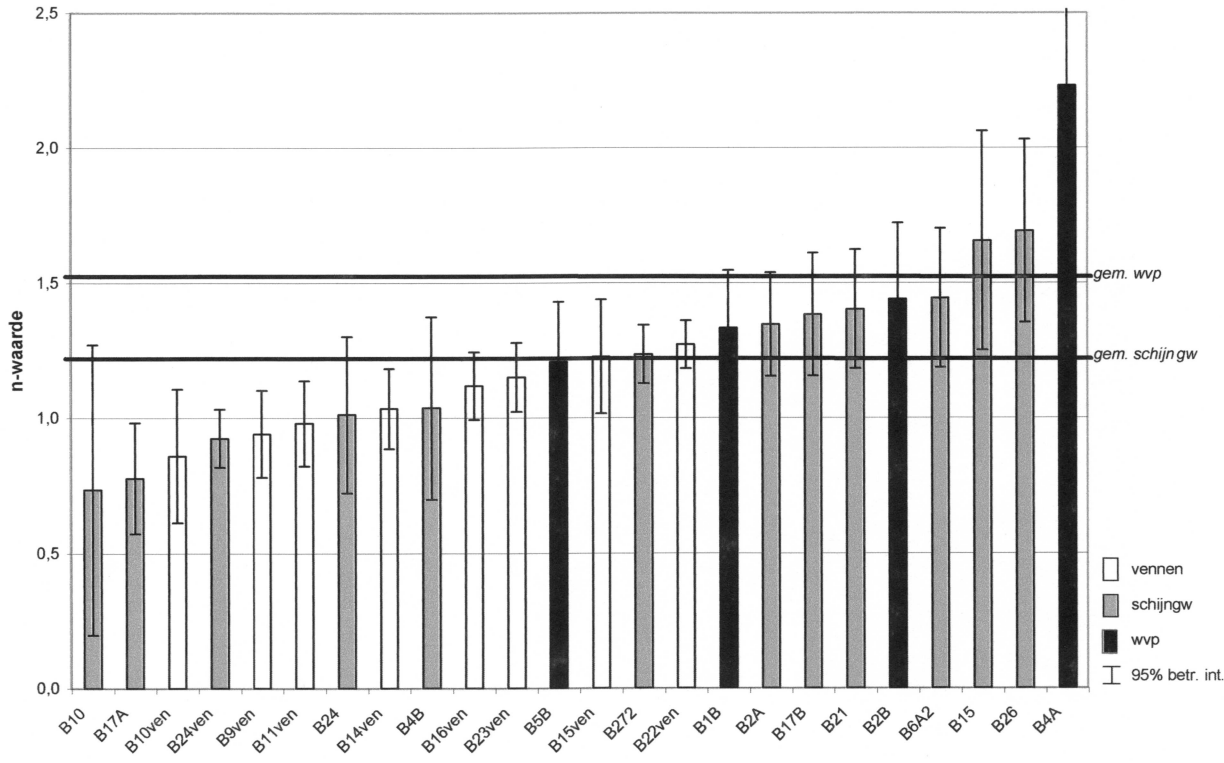


Fig. 5.5. n-waarden van alle meetpunten, oplopend gesorteerd.

De gemiddelde waarden voor het watervoerend pakket, het schijngrondwater en de vennen zijn respectievelijk 1.55, 1.25 en 1.06.

Opvallend is dat de vennen alle een *n*-waarde kleiner dan 1.3 (B22ven) hebben, terwijl voor de meeste overige peilbuizen grotere *n*-waarden worden gevonden. Twee peilbuizen (B10 en B17A) hebben echter een *n*-waarde kleiner dan de peilbuizen in de vennen. De overige *n*-waarden van de grondwaterpeilbuizen liggen tussen de 1.0 en 1.5. Binnen deze grenzen ligt ook peilbuis B22ven. Grondwaterpeilbuizen met een grotere *n*-waarden zijn B15, B26 en B4A.

De resultaten wijzen erop dat de vennen een lagere *n*-waarde hebben dan het schijngrondwatersysteem waarin ze liggen. Dit houdt in dat de venpeilen een kleinere reactietijd hebben dan de grondwaterstanden. Hierbij hebben B9ven, B10ven en B11ven en B24ven de laagste *n*-waarden (kleinste reactietijd). Grote *n*-waarden worden gevonden voor B15ven en B22ven.

5.3.4 Gemiddelde amplitude van de waterstandfluctuatie per jaar

Als aangenomen wordt dat de waterstandfluctuatie benaderd kan worden met een sinusfunctie (vergelijking 5.1), dan kan de gemiddelde amplitude van de waterstandfluctuatie worden geschat, door vergelijking 5.1 op te lossen voor een Pearson III functie (vergelijking 5.2) (Von Asmuth et al., in prep.).

$$\Xi = \int \sin(\omega t)\, \theta\,(t-\tau)\mathrm{d}\tau \qquad \textit{verg. 5.1}$$

Ξ = waterstandfluctuatie (m)
ω = cirkelfrequentie ($2\pi/T$) (rad)
T = periode (dag)
t = tijd (dag)

$$\Xi(t) = \frac{A}{(1+(\omega^2/a^2))^{n/2}} \sin(\omega t - n/\omega \arctan(\omega/a)) \qquad \textit{verg. 5.2}$$

De term voor de sinusfunctie kan gebruikt worden om de jaarlijkse amplitude van de grondwaterstandfluctuatie te schatten. Hiervoor is ω 0.0172 ($2\pi/365.24$).

$$h_j = \frac{\lambda \cdot A}{(1+(0.0172^2/a^2))^{n/2}} \qquad \textit{verg. 5.3}$$

h_j = amplitude van de waterstandsfluctuatie per jaar (m)
λ = gemiddelde amplitude van het neerslagoverschot (m/d)

De gemiddelde jaarlijkse amplitude van het neerslagoverschot is in de Bilt voor de periode 1983 tot 2001 2.25 mm/dag (Von Asmuth et al., in prep.). In figuur 5.6 zijn de berekende h_j voor alle meetpunten weergegeven.

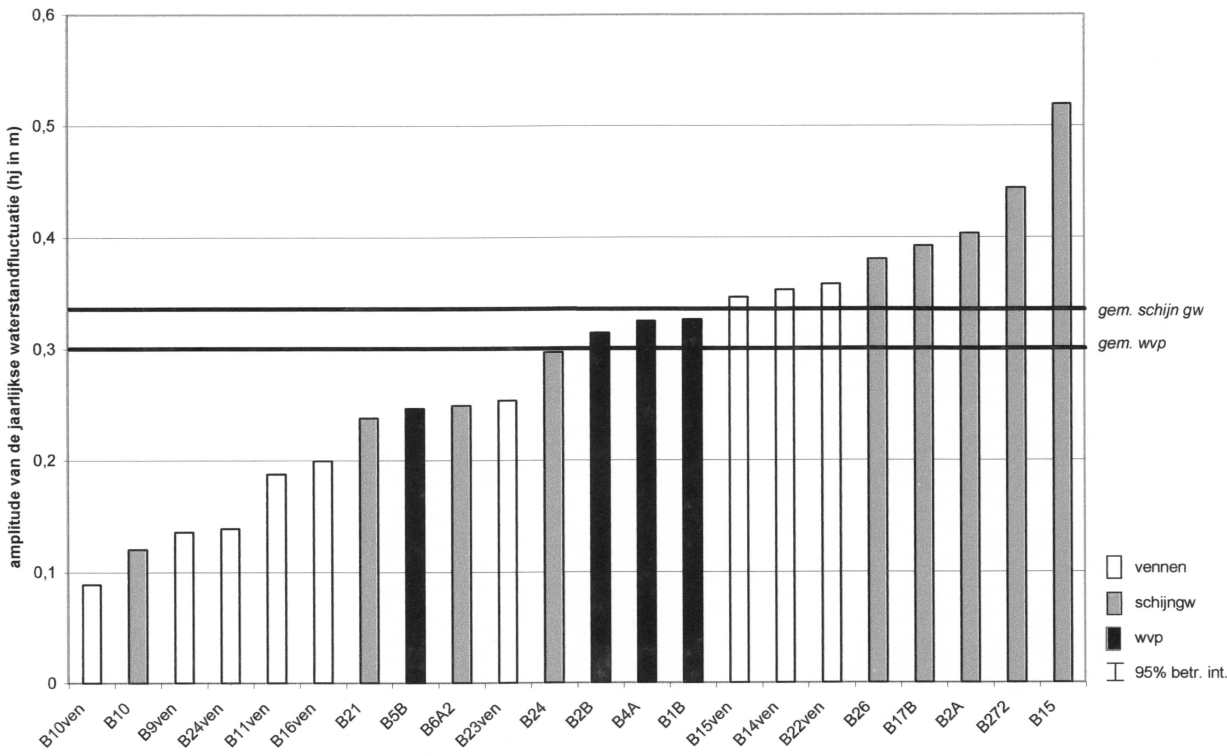


Fig. 5.6. h_j-waarden van alle meetpunten, oplopend gesorteerd.

De gemiddelde waarden voor het watervoerend pakket, het schijngrondwater en de vennen zijn respectievelijk 0.30, 0.34 en 0.23 m.

Figuur 5.6 laat zien dat de meeste venmeetpunten een kleinere h_j hebben als de gemiddelde waarden van het schijngrondwater en het watervoerend pakket. De venmeetpunten B14ven, B15ven en B22ven hebben echter een grotere h_j.

5.3.5 Verhouding tussen het venoppervlak en de grootte van het intrekgebied

Met behulp van de eerste twee momenten van de impuls responsfunctie kan, uitgaande van een rond ven met straal R_1, de verhouding tussen de venstraal en de straal van het intrekgebied (R_2) bepaald worden volgens onderstaande vergelijkingen 5.4 en 5.5 (bijlage G). Hierbij is aangenomen dat het ven in het midden van het schijngrondwatersysteem gelegen is.

$$A = \frac{R_2^2 - R_1^2}{4kD} \qquad \textit{verg. 5.4}$$

$$\frac{A \cdot n}{a} = \{(8\alpha^2 - 4\alpha^4 - \frac{8}{S_2}\alpha^2 + \frac{8}{S_2}\alpha^4)\ln\alpha + 3 + \alpha^4 - 4\alpha^2\}\frac{S_2 R_1^4}{64kD^2}\frac{1}{\alpha^4} \qquad \textit{verg. 5.5}$$

Met:
S_2 =bergingscoëfficiënt van de omgeving ($S_2 \approx 0.10$)
$\alpha = R_1/R_2$

Tabel 5.4 geeft een overzicht van de berekende verhouding.

Tabel 5.4. Verhouding tussen de venstraal (R_1) en de straal van het intrekgebied (R_2).

	B10ven	**B11ven**	**B9ven**	**B24ven**	**B23ven**	**B16ven**	**B15ven**	**B14ven**	**B22ven**
R_1/R_2	2,10	0,70	1,04	1,08	0,47	0,56	0,31	0,36	0,29

5.3.6 Samenvatting

Tabel 5.5 geeft een samenvatting van de resultaten van de venmeetpunten. Bijlage H geeft een vergelijking tussen $1/(A \cdot a)$, h_j, R_1/R_2 en GHG-GLG.

Tabel 5.5. Overzicht van de resultaten van de venmeetpunten.

Vennr.	A-waarde	1/(A·a)-waarde	n-waarde	h_j	R_1/R_2
B10ven	365	2.11	0.86	0.09	2.10
B9ven	481	1.09	0.94	0.14	1.04
B11ven	580	0.72	0.98	0.19	0.70
B24ven	785	1.16	0.92	0.14	1.08
B23ven	548	0.41	1.15	0.25	0.47
B15ven	1336	0.25	1.23	0.35	0.31
B16ven	850	0.51	1.12	0.20	0.56
B14ven	1461	0.34	1.03	0.35	0.36
B22ven	1492	0.22	1.27	0.36	0.29

In tabel 5.6 zijn, op basis van de besproken kenmerken, aan de venmeetpunten een rangorde toegekend. Deze rangorde voor de verschillende kenmerken is in de laatste kolom opgeteld. Een kleine waarde komt overeen met een kleine venpeilamplitude en reactietijd. Een grote waarde komt overeen met een grote venpeilamplitude en reactietijd.

Tabel 5.6. Rangorde van de venmeetpunten.

Vennr.	A-waarde	A·a-waarde	n-waarde	h_j	R_1/R_2	som
B10ven	1	1	1	1	1	**5**
B9ven	2	3	3	2	3	**13**
B24ven	5	2	2	2	2	**13**
B11ven	4	4	4	4	4	**20**
B16ven	6	5	6	5	5	**27**
B23ven	3	6	7	6	6	**28**
B14ven	8	7	5	7	7	**34**
B15ven	7	8	8	7	8	**38**
B22ven	9	9	9	9	9	**45**

Tabel 5.6 laat zien dat voor alle kenmerken min of meer dezelfde volgorde wordt gevonden. Te zien is dat h_j exact overeen komt met de gesommeerde rangorde. Omdat h_j wordt berekend uit zowel A, als a als n, wordt in het vervolg h_j gebruikt om de responscurven te kwantificeren. Figuur 5.7 geeft een overzicht van de berekende h_j van de vennen.

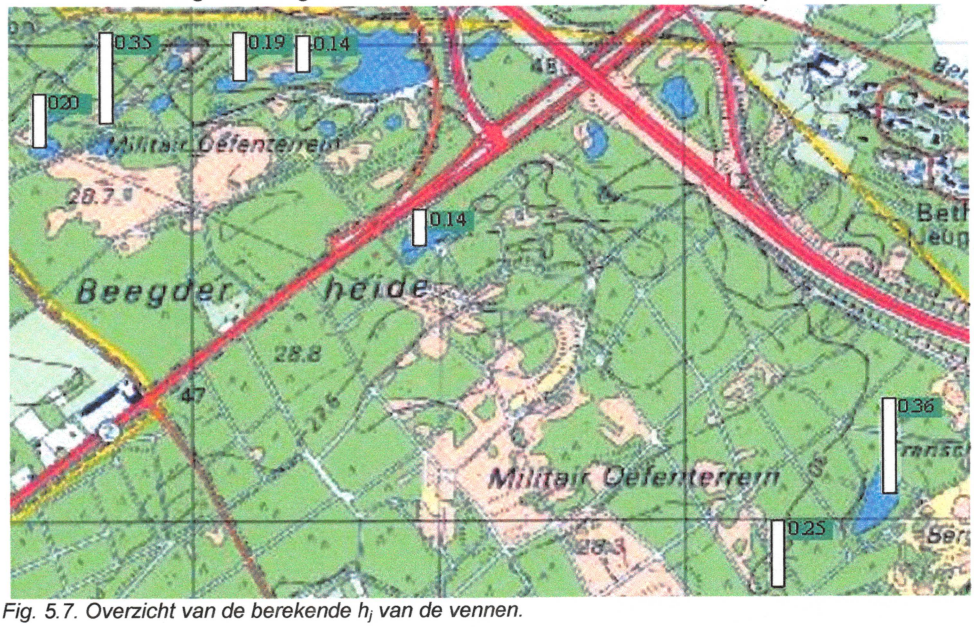


Fig. 5.7. Overzicht van de berekende h_j van de vennen.

6 Interpretatie resultaten Menyanthes aan de hand van veldkenmerken

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van Menyanthes vergeleken met een aantal veldkenmerken: de beschikbare bodemprofielen (6.2), het potentiaal van het grondwater ten op zichte van het oppervlaktewater (6.3), het EGV van de vennen (6.4), de verhouding tussen het venoppervlak en de grootte van het intrekgebied (6.5) en de venvegetatie (6.6).

6.2 Interpretatie responscurven aan de hand van geohydrologische doorsneden

Tijdens het ecohydrologisch onderzoek Beegderheide, dat in 1998 is uitgevoerd, zijn langs drie raaien boringen uitgevoerd (bijlage J). Met deze boringen is per raai een doorsnede getekend. Hierna worden de resultaten van Menyanthes per raai besproken.

Omdat in het onderzoeksgebied voornamelijk (fijn) zand is aangetroffen, wordt aangenomen dat de bergingscoëfficiënt van de omgeving overal ongeveer gelijk is ($S_2 \approx 0.10$). Verder zijn in het gebied geen duidelijke aanwijzingen dat de in- en uittreeweerstand van de vennen erg verschillen. Aangenomen wordt dat deze voor alle vennen ongeveer gelijk is. Ook wordt aangenomen dat verschillen in het ventalud geen grote invloed hebben op h_j (bijlage I). Verschillen tussen vennen in de amplitude van de waterstandfluctuatie (h_j) worden dan voornamelijk bepaald door de weerstand tegen stroming naar de rand van het schijngrondwatersysteem, de dikte van de onverzadigde zone en de weerstand van de slechtdoorlatende laag van het schijngrondwatersysteem (hoofdstuk 2.2).

6.2.1 Raai A-A'

In raai A-A' (bijlage J) liggen de venmeetpunten B9ven, B10ven, B11ven, B14ven, B15ven en B16ven.

De meetpunten **B9ven, B10ven en B11ven** liggen in hetzelfde vensysteem en staan sinds juni 1998 via het oppervlaktewater (periodiek) met elkaar in verbinding. In het vorige hoofdstuk viel op dat de responscurven van deze drie meetpunten op elkaar lijken, wat dus niet zo verwonderlijk is. Verschillen tussen de responscurven (vooral in *A*-waarde) komen voort uit verschillen in het ontbreken van meetgegevens voor de analyse in Menyanthes (onder andere door het geregeld droogvallen van bepaalde delen van het ven).

De vennen B9ven, B10ven en B11ven hebben een kleine h_j (hoofdstuk 5.3.8) en hebben dus, bij bovengenoemde aannamen, een kleine weerstand tot de rand van het schijngrondwatersysteem, een grote dikte van de onverzadigde zone en/of een geringe weerstand van de slechtdoorlatende leemlaag van het schijngrondwatersysteem. Door de hoge ligging van de vennen in vergelijking tot B14ven, B15ven en B16ven (die een grotere h_j hebben), lijken de resultaten erop te wijzen dat deze twee vensystemen in verschillende schijngrondwatersystemen liggen of dat de aanwezige ironpan (hoofdstuk 2.1) de vennen B9ven, B10ven en B11ven isoleren van de omgeving.

B14ven en B15ven zijn gelegen in hetzelfde ven. Alhoewel de responscurven van beide meetpunten op elkaar lijken, zijn er toch verschillen op te merken. Deze verschillen worden veroorzaakt doordat B14ven minder vaak droogvalt (vooal in 2000 en 2001) dan B15ven. **B16ven** is het naastgelegen ven en heeft een kleinere h_j. Deze kleinere h_j en de lagere ligging van B16ven ten opzichte van B15ven zijn aanwijzingen dat B14ven, B15ven en B16ven in hetzelfde schijngrondwatersysteem liggen. Echter, mogelijk heeft ook het grotere venoppervlak van B16ven of de aanwezige ironpan invloed op de berekende h_j.

In de vorige hoofdstukken is de kleine *n*-waarde (is snel reagerend) voor meetpunt **B17A en B10** als opmerkelijk genoemd. De kleine *n*-waarde voor meetpunt B17A is goed te verklaren, daar dit meetpunt erg ondiep gelegen is (0.07 – 0.47 m-mv) en daardoor snel reageert op een neerslagimpuls. De kleine *n*-waarde van B10 is meer opvallend, ook doordat B10ven een (iets) grotere *n*-waarde heeft. Waarschijnlijk komt de kleine *n*-waarde van meetpunt B10 voort uit een niet goede voorspelling van de waterstand (percentage verklaarde variantie: 30.18), doordat de harde slechtdoorlatende laag niet-lineair gedrag van de grondwaterstand veroorzaakt (hoofdstuk 5.2.4).

Meetpunt **B15** heeft een grote h_j. Deze grote waterstandamplitude is mogelijk het gevolg van niet-lineairiteit door de aanwezigheid van lemig zand en een leemlaag net boven het filter van dit meetpunt (hoofdstuk 5.2.4).

Meetpunt **B2A** is het enige meetpunt dat ligt in het schijngrondwater van de directe omgeving van één van de bemeten vennen. De stijghoogte van meetpunt B2A ligt in de winter boven het venpeil van B11ven en in de zomer onder dit venpeil. Dit houdt in dat in de winter een toestromingsflux aanwezig is, terwijl in de zomer water wegzijgt richting B14ven of naar de ondergrond, overeenkomstig figuur 2.3.

Meetpunt **B2B** ligt in het watervoerend pakket onder meetpunt B2A (schijngrondwater). Meetpunt B2B heeft een kleinere h_j en een grotere n-waarde dan meetpunt B2A. De resultaten van Menyanthes laten dus duidelijk zien dat het diepe grondwater een meer vertraagde respons en meer dispersie van de respons geeft dan het ondiepe schijngrondwater.

6.2.2 Raai B-B'

In raai B-B' liggen de vennen **B22ven en B23ven** (bijlage J). B22ven heeft een duidelijk grotere h_j dan B23ven, terwijl ook het venoppervlakte van B22ven duidelijk groter is dan die van B23ven. Beide responscurven lijken op de responscurven van de meetpunten in het schijngrondwater van deze raai. Uit bijlage J is de grootte van het schijngrondwatersysteem moeilijk te schatten. Het is echter goed mogelijk dat de twee vennen in hetzelfde schijngrondwatersysteem liggen. Maar evengoed is het mogelijk dat de vennen in een apart systeem liggen, waarbij B22ven in een groter of verder van de rand van het schijngrondwatersysteem ligt dan B23ven.

Meetpunt **B6A2** heeft een relatief kleine h_j. Dit meetpunt is dieper gelegen dan de overige meetpunten. Boven dit meetpunt ligt misschien een slechtdoorlatende veenlaag (4.80-4.95 m-mv), wat een vertragend effect op de respons kan hebben. Dit lijkt ook het geval te zijn, daar de n-waarde voor meetpunt B6A2 relatief groot is. Meetpunt B6A2 lijkt dus geïsoleerd te liggen. Ook de opmerkelijke daling van de grondwaterstand die alleen op dit meetpunt gevonden wordt, (bijlage C) duidt op een geïsoleerde ligging.

Meetpunt **B272** is ondieper en dichter bij ven 30 gelegen dan meetpunt **B26**. De verwachte grondwaterstroming is van meetpunt B272 naar meetpunt B26, doordat het water hoogstwaarschijnlijk afstroomt naar de daargelegen snelweg (N-68) en bij meetpunt B272 altijd hogere grondwaterstanden worden gevonden dan bij meetpunt B26. Verwacht wordt dus dat B26 een kleinere h_j laat zien dan meetpunt B272. Dit blijkt ook zo te zijn.

6.2.3 Raai C-C'

In raai C-C' is alleen het venmeetpunt **B24ven** gelegen (bijlage J). Meetpunt **B24**, die onder B24ven gemeten is, heeft een grotere h_j dan B24ven. B24ven heeft in vergelijking met de andere vennen (hoofdstuk 5.3.8) een kleine h_j. De grootte en ligging van het schijngrondwatersysteem is uit de raai moeilijk af te leiden. Het ven heeft een groot venoppervlak, waardoor de kleine h_j mogelijk (deels) verklaard wordt (hoofdstuk 2.2). Boven meetpunt B24 (tussen meetpunt B24 en B24ven) is een lemige laag en een verkit ijzerlaagje aangetroffen. Deze lagen kunnen een vertragende invloed hebben op de respons van meetpunt B24. Maar door de kleine n-waarde (is snelreagerend) van meetpunt B24 lijkt de vertragende invloed van deze lemige laag klein te zijn.

De niet goede beschrijving van meetpunt **B4B** lijkt erop te wijzen dat de tweede aangetroffen leemlaag meer invloed heeft op de hydrologie (hoofdstuk 5.2.4).

6.3 Potentiaal

In bijlage K zijn de resultaten van de potentiaalmeting op 19 juli 2003 (hoofdstuk 1.4) opgenomen. De meting is uitgevoerd op een warme droge dag, in een lange droge periode.

Tabel 6.1 geeft een overzicht per ven van de gemiddelde waarden voor het potentiaalverschil. Relatief grote verschillen zijn gemeten in de vennen B14ven, B15ven en B24ven. De vennen B9ven, B10ven, B11ven, B22ven en B23ven hebben relatief kleine verschillen. Wordt weer aangenomen dat de in- en uittreeweerstand van de vennen in de Beegderheide gelijk is, dan houdt een relatief klein verschil in potentiaal een geringe kwel- of wegzijgingsflux (hoofdstuk 2.2) in. Zo hebben de vennen waarin een klein potentiaalverschil gevonden wordt een relatief kleine h_j en vennen waarin een relatief groot potentiaalverschil gevonden wordt een relatief grote h_j.

Tabel 6.1. De gemiddelde waarde voor het potentiaalverschil per ven (positieve waarde houdt in dat de potentiaal van het grondwater groter is dan het oppervlaktewater, oftewel dat er sprake is van kwel).

Meetpunt	Gemiddeld potentiaalverschil
B9ven, B10 ven, B11ven	3,2 cm
B14ven, B15ven	8,1 cm
B16ven	3,8 cm
B24ven	7,4 cm
B22ven	1,6 cm
B23ven	2,0 cm

Opmerkelijk is dat op één meetpunt na, op alle meetpunten kwel is gemeten. De verwachting was dat in een zomerperiode voornamelijk wegzijging optreedt (hoofdstuk 2.2). Opgemerkt moet worden dat de potentiaalsonde vaak ook vóór de meting, als beide uiteinden in het oppervlaktewater gehouden werden, ook na het uitkloppen van eventueel aanwezige luchtbellen, een onverklaarbaar verschil in stijghoogte (0-20 cm) aangaf (bijlage K). Hiervoor is weliswaar gecorrigeerd, maar onnauwkeurigheden en meetfouten kunnen dus de meting hebben beïnvloed.

Een verklaring voor het onverwachte feit dat in de meetperiode, midden juli, kwel werd gemeten in de vennen is de volgende. Tijdens een erg droge periode, als de bodem uitgedroogt is tot nabij verwelkingspunt en geen capillaire nalevering meer mogelijk is, kan de verdamping op land sterk teruglopen. De verdamping in het ven gaat echter wel door, waardoor een kwelstroming richting het ven op kan treden (figuur 6.1).

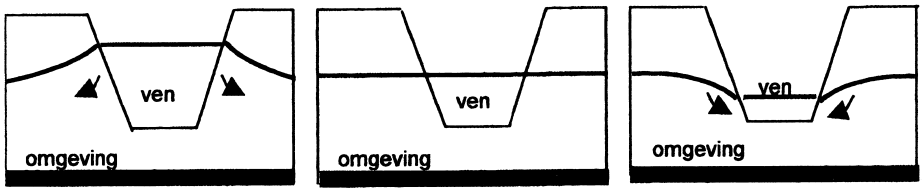


Fig. 6.1. Schematische voorstelling mogelijke situatie tijdens meetperiode (rechts) (links: zomersituatie, midden: $E_{ven} > E_{omg}$, rechts: $E_{ven} > E_{omg}$, kwelstroming richting ven).

Op een zeer warme dag kan open water maximaal 7 mm verdampen (www.knmi.nl). Van Dam et al. (1996) berekende de in- en uittreeweerstand (C) voor vijf verschillende vennen tussen 38 en 1000 dagen. Bij de minimale weerstand van 38 dagen is E_{act} bij een maximaal potentiaalverschil van 8 cm volgens $q=\Delta H/C$, 2 mm/dag. De peildaling p in het ven is dan dus 5 mm/dag. De daling van de grondwaterstand in de omgeving moet minder groot zijn dan deze peildaling van 5 mm/dag, om de kwelstroming richting het ven te garanderen. Met een bergingscoëfficiënt van S_2=0.10 en een veronderstelde afwezigheid van capillaire opstijging, moet de venfractie g in het intrekgebied kleiner zijn dan 20% (vergelijking 6.1). Bij een in- en uittreeweerstand van 100 en 1000 dagen moet de venfractie kleiner zijn dan 90 respectievelijk 99%. Een venfractie kleiner dan 20% is erg klein en onwaarschijnlijk, maar een venfractie kleiner dan 90% is reeds goed mogelijk. Het spreekt voor zich dat een venfractie kleiner dan 99% altijd voorkomt.

$$\frac{g}{(1-g)} \cdot \frac{g}{S_2} \leq p \qquad \textit{verg. 6.1}$$

Figuur 6.2 geeft een vergelijking tussen de resultaten van de potentiaalmeting en de resultaten van Menyanthes.

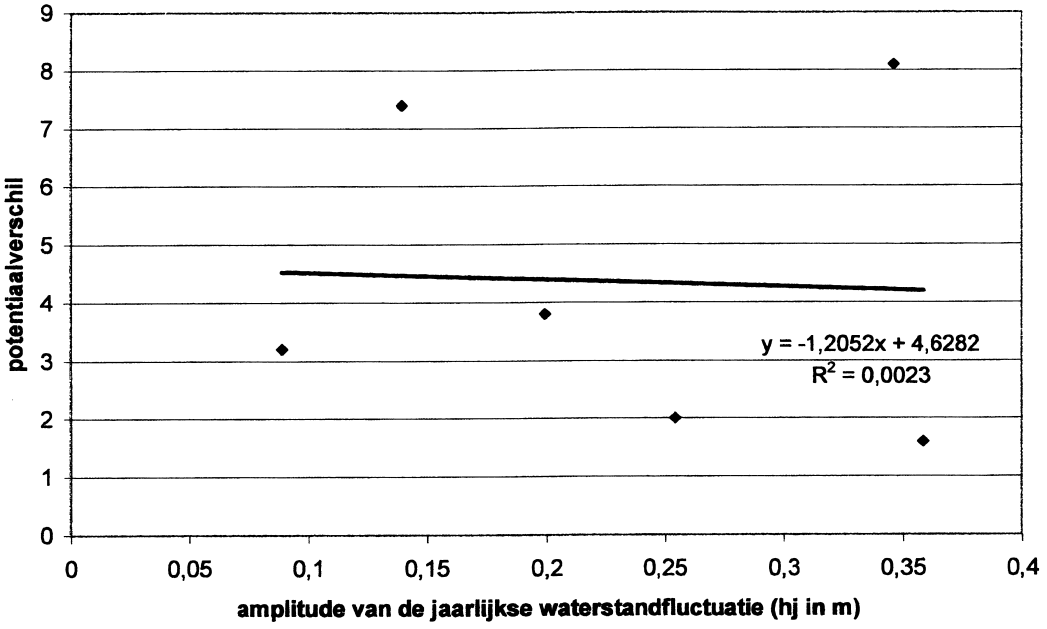


Fig. 6.2. Vergelijking tussen de resultaten van de potentiaalmeting en de resultaten van Menyanthes.

Figuur 6.2 laat zien dat er geen verband is op te merken tussen de potentiaalverschillen en h_j (R^2=0.0023). Wel moet opgemerkt worden dat de verschillen in potentiaal tussen de vennen slechts gering zijn en zoals genoemd, laat de nauwkeurigheid van de meting met de potentiaalsonde te wensen over en zijn de gevonden kwelstromen moeilijk te verklaren.

6.4 EGV

Tabel 6.2 en bijlage L geven een overzicht van het gemeten EGV in de vennen op 19 juli 2003.

Tabel 6.2. Gemiddelde EGV en temperatuur per ven.

Meetpunt	EGV (µS/cm)	Temperatuur (°C)
B9ven, B10ven, B11ven	51,0	32,1
B14ven, B15ven	62,1	24,2
B16ven	38,2	22,9
B24ven	29,9	33,4
B22ven	38,8	30,6
B23ven	31,9	31,8

Verwacht wordt dat in de vennen met de grootste toestromingsflux grondwater het EGV, als maat voor de hoeveelheid opgeloste stoffen, het hoogste is (hoofdstuk 2.2). Alle gevonden EGV waarden zijn laag, maar doordat de ondergrond in de Beegderheide kalkarm is, hoeft dit niet te betekenen dat de invloed van grondwater in de vennen gering is.

Figuur 6.3 geeft een vergelijking tussen de resultaten van de EGV meting en van Menyanthes.

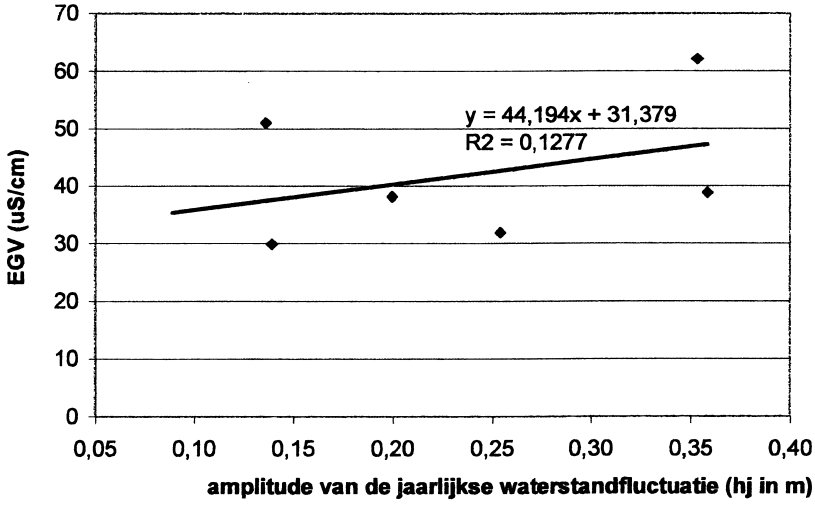


Fig. 6.3. Vergelijking tussen de EGV en de, in Menyanthes, berekende waterstandfluctuatie (h_j).

De vergelijking wijst uit dat er geen duidelijk verband bestaat tussen het EGV en de resultaten van Menyanthes. De verschillen in EGV zijn slechts gering en kunnen behalve door de herkomst van het venwater, ook voortkomen uit ingrepen in het verleden en uit de mate van invloed van verdamping (diep/ondiep ven). Wordt het EGV vergeleken met het gemeten (GHG-GLG)/2 (bijlage H), dan wordt hetzelfde beeld verkregen.

6.5 Grootte van het intrekgebied

Met behulp van een luchtfoto van de Beegderheide (Topografische Dienst, 1990), zijn de venoppervlakten op 27 maart 1989 bepaald. In combinatie met de topografische kaart en de doorsneden (bijlage J) is geprobeerd een schatting te maken van de grootte van het intrekgebied. Dit bleek echter erg moeilijk, zo niet onmogelijk te zijn. Daarom is geprobeerd om met behulp van de beschikbare doorsneden (bijlage J) in twee dimensies de verhouding tussen het ven en het intrekgebied, voor een wintersituatie, te bepalen. Hiervoor is de diameter van het intrekgebied bepaald door de afstand te meten tussen de maximale grondwaterstand (waterscheiding) tussen het ven en het naastgelegen ven aan de ene kant en het naastgelegen ven aan de andere kant. De diameter van het intrekgebied is inclusief vendiameter. Tabel 6.3 geeft een overzicht.

Tabel 6.3. Twee dimensionaal: vendiameter en diameter intrekgebied en hun verhouding.

Meetpunt	Diam. ven (m)	Diam. intrekgebied (m)	Diam. ven/diam. intrek (-)
B9ven	87	146	0,59
B11ven	65	146	0,44
B14ven,B15ven	92	308	0,30
B16ven	65	119	0,55
B24ven	87	227	0,38
B22ven	32	432	0,08
B23ven	43	216	0,20

NB. Venbreedte van B16ven is waarschijnlijk overschat, doordat de raai niet loodrecht is. Mogelijk is het intrekgebied van B23ven overschat. De grootte van het intrekgebied voor B24ven is lastig te schatten.

In figuur 6.4 is de verhouding tussen het ven en het intrekgebied uitgezet tegen de met Menyanthes berekende waterstandfluctuatie per jaar (h_j).

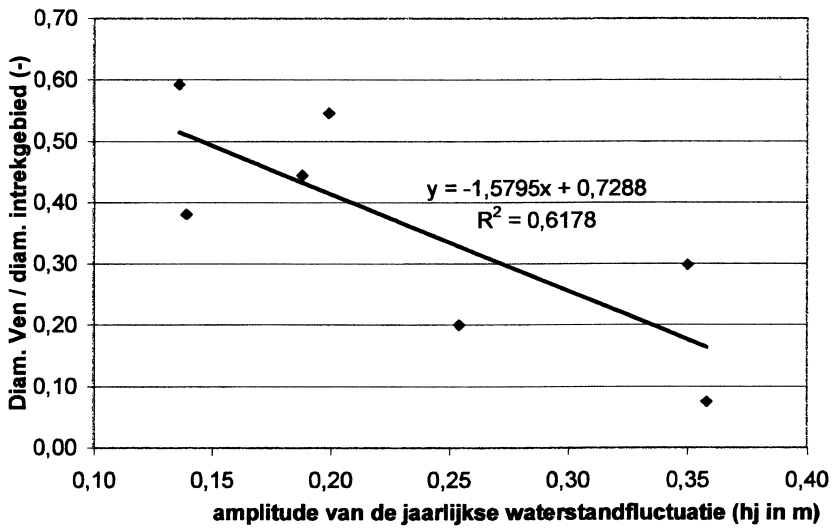


Fig. 6.4. Vergelijking tussen de verhouding tussen het venoppervlak en de grootte van het intrekgebied met de met Menyanthes berekende waterstandfluctuatie (hj).

Te zien is dat met een afname van de verhouding tussen het ven en het intrekgebied, de amplitude van de waterstandfluctuatie, zoals berekend met Menyanthes, toeneemt. Dit komt overeen met de verwachting, daar de waterstandfluctuatie toeneemt als de grootte van het schijngrondwatersysteem groter wordt (hoofdstuk 2.2). De verhouding is in figuur 6.5 ook uitgezet tegen de berekende R_1/R_2 (hoofdstuk 5.3.5).

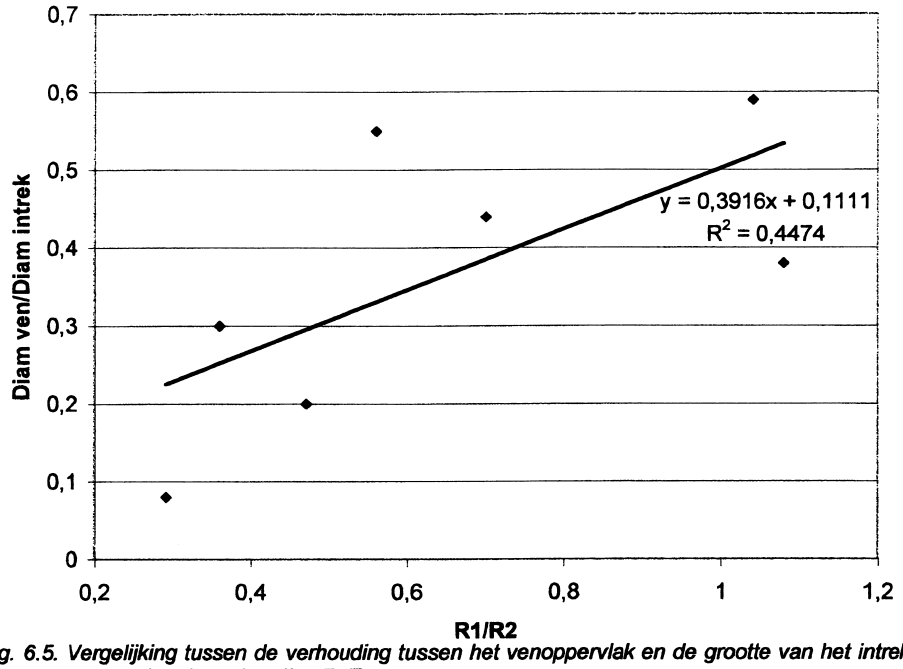


Fig. 6.5. Vergelijking tussen de verhouding tussen het venoppervlak en de grootte van het intrekgebied met de met Menyanthes berekende verhouding R_1/R_2.

Het positieve verband tussen de verhouding en R_1/R_2 is niet verwonderlijk, omdat beide verhoudingen hetzelfde weergeven. Wel opmerkelijk is dat de bepaalde verhouding uit de doorsneden duidelijk lager uitvalt dan de met Menyanthes berekende R_1/R_2. Blijkbaar wordt het intrekgebied uit de doorsneden overschat en/of met Menyanthes te klein berekend.

De opmerkingen onder tabel 6.3 zijn ook terug te vinden in figuur 6.4 en figuur 6.5. B16ven heeft relatief een hoge verhouding tussen de diameter van het ven en de diameter van het intrekgebied, terwijl B23ven een relatief lage verhouding heeft. Bij B24ven is waarschijnlijk de grootte van het intrekgebied overschat.

6.6 Venvegetatie

6.6.1 Beschrijving van de venvegetatie

In 2001 heeft een uitgebreide flora inventarisatie van de vennen van de Beegderheide plaatsgevonden (Heijligers et al., 2001). In dit hoofdstuk wordt de correlatie tussen het voorkomen van plantensoorten en h_j geanalyseerd. Bijlage M geeft een overzicht van de gevonden venvegetatietypen en de gevonden plantensoorten die een duidelijke voorkeur hebben voor een bepaalde mate van waterstandfluctuatie, met hun voorkomen in de verschillende vennen. Ook worden in bijlage M de termen Associatie, Romp- en Derivaatgemeenschap toegelicht.

In alle vennen is de Derivaatgemeenschap van Pitrus en Veenmos en de Associatie van Waterveenmos aangetroffen. De Derivaatgemeenschap van Pitrus en Veenmos duidt op een relatief hoge trofiegraad van de vennen. Bij aanwezigheid van drijvend Waterveenmos duidt de Associatie van Waterveenmos op een kleine venpeilamplitude. In de onderzochte vennen is echter geen drijvend Waterveenmos aangetroffen maar groeit het Waterveenmos onder water. Het voorkomen van Waterveenmos in de vennen komt doordat alle vennen (matig) zuur zijn.

Verder wordt, behalve in ven 10 langs alle vennen de Associatie van Gewone Dopheide gevonden. De reden dat deze Associatie in ven 10 niet gevonden wordt, is waarschijnlijk dat ven 10 nog maar pas is uitgebaggerd (Heijligers et al., 2001) en hierdoor Gewone Dopheide zich nog niet heeft kunnen vestigen (figuur 2.4).

Hierna volgen per ven de overige belangrijkste vegetatiekenmerken. De eisen van de vegetetatie aan de standplaatsomstandigheden zijn ontleend aan Aggenbach et al. (1998b). De aanduidingen (c), (zf), (mf) en (sf) betekent de voorkeur van de plantensoort voor een

bepaald fluctuatieregime: constant, zwakke fluctuatie, matige fluctuatie en sterke fluctuatie (bijlage M). De vegetatiekenmerken zijn onderverdeeld in aquatische/amfibische zone en terrestische zone (figuur 6.6).

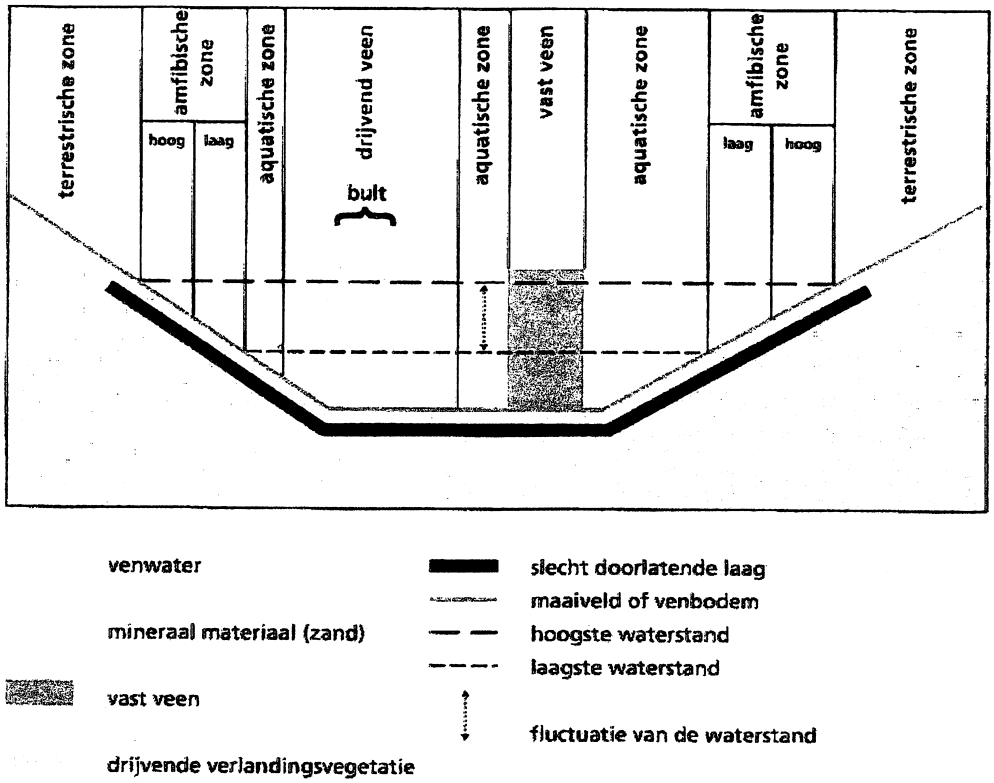


Fig. 6.6. Zonaties in vensystemen (naar: Aggenbach et al., 1998b).

B9ven, B10ven en B11ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Snavelzegge (c/zf)

De aanwezigheid van Snavelzegge in de amfibische zone duidt op oligo-mesotroof tot zwak eutroof water bij een constant tot zwakfluctuerend waterpeil. Verder is in de amfibische zone Waternavel en Pitrus aangetroffen, die ook duiden op een lichte eutrofiëring van het venwater.

De aanwezigheid van Snavelzegge in de aquatische/amfibische zone duidt op een venpeilamplitude **kleiner dan 15 cm**.

- ***Terrestische zone:***

Gewone Dophei (mf/sf)
Bochtige Smele (sf)
Gewone Braam (sf)

In de terrestische zone wordt de Associatie van Moeraswolfsklauw en Snavelbies aangetroffen. Deze Associatie komt voor op de afgeplagde delen van het ven. In het algemeen komt deze Associatie voor op voedselarme plaatsen, waar 'horizontale' kwel optreedt.

De aanwezigheid van Knolrus, Pijpestrootje, Bruine en Witte Snavelbies en Kleine Zonnedauw duidt op de aanwezigheid van ongebufferd tot zeer zwak gebufferd oligotroof tot mesotroof water.

Het ven is in september 1998 geplagd, hier profiteert Gewone Dophei van.

De venvegetatie van de terrestische zone duidt op **ongebufferde, oligotrofe tot mesotrofe** standplaatskenmerken en op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

B14ven en B15ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Klein Blaasjeskruid (c)

In de amfibische zone van ven 10 zijn naast bovenstaande soorten ook Pitrus, Knolrus, Veelstengelige Waterbies, Waternavel en Veenpluis aangetroffen. Deze soorten duiden op licht eutrofe omstandigheden en ongebufferde tot zwakgebufferd water. Het ven wordt omgeven door bomen, die door bladinval het ven kunnen eutrofiëren.

De aanwezigheid van Klein Blaasjeskruid in de aquatische/amfibische zone duidt op een venpeilamplitude **kleiner dan 15 cm**.

- ***Terrestische zone:***

Bochtige Smele (sf)

De terrestische zone van ven 10 wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van de Rompgemeenschap van Pijpestrootje en Veenmos. Dit vegetatietype wijst op mesotrofe tot zwak eutrofe omstandigheden en op sterk fluctuerende waterstanden.

De venvegetatie van de terrestische zone duidt op **eutrofe** omstandigheden en op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

B16ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Zachte berk (mf/sf)
Waternavel (mf/sf)
Moerashertshooi (mf/sf)

In de amfibische zone zijn Witte Waterlelie, Pitrus, Veenpluis, Knolrus, Stijve Zegge en Veelstengelige Waterbies aangetroffen. Deze soorten duiden op licht eutrofe omstandigheden en ongebufferde tot zwakgebufferd water.

De aangetroffen soorten in de aquatische/amfibische zone duiden op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

- ***Terrestische zone:***

Gewone dophei (mf/sf)
Bochtige Smele (mf/sf)
Gewone Braam (sf)

Pijpestrootje en Bochtige Smele komen veel voor in de terrestische zone. Deze soorten profiteren van de relatief voedselrijke omstandigheden.

De venvegetatie van de terrestische zone duidt op **mesotrofe** omstandigheden en op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

B24ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Zompzegge (c/zf)
Waternavel (mf/sf,-)
Klein Blaasjeskruid (c)
Draadzegge (c)

In de amfibische zone komt Veenpluis, Knolrus en Pitrus veel voor. Deze soorten duiden op licht eutrofe omstandigheden en ongebufferde tot zwakgebufferd water.

Door het voorkomen van Klein Blaasjeskruid, Zompzegge en Draadzegge onderscheidt dit ven zich van de overige vennen. Deze soorten duiden op een venpeilamplitude **kleiner dan 15 cm**.

- ***Terrestische zone:***

Gewone Dophei (mf/sf)
Bochtige Smele (mf/sf)
Gewone Braam (sf)

In de terrestische zone van het ven komt Bochtige Smele, Struikhei en Pijpestrootje veel voor. De venvegetatie duidt op **ongebufferde** omstandigheden en op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

B22ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Zompzegge (c/zf)
Waternavel (mf/sf, -)
Veelstengelige waterbies (sf)

Knolrus, Pitrus, Veelstengelige Waterbies en Stijve Zegge komen in de amfibische zone voor en duiden op lichte eutrofiëring en ongebufferde tot zwak gebufferde omstandigheden.

De aangetroffen soorten in de amfibische zone duiden op een venpeilamplitude **groter dan 15 cm** van het waterpeil.

- ***Terrestische zone:***

Gewone Dophei (mf/sf)
Tormentil (mf/sf)
Bochtige Smele (mf/sf)
Gewone Braam (sf)

Evenals in ven 10 is ook in ven 31 de Rompgemeenschap van Pijpenstrootje en Veenmos aanwezig. Zoals reeds genoemd, komt dit vegetatietype vooral voor bij relatief eutrofe omstandigheden met sterk fluctuerende waterstanden. Op de afgeplagde delen komt de Associatie van Moeraswolfsklauw en Snavelbies voor. Deze Associatie komt voor op voedselarme plaatsen.

Opvallend is verder de aanwezigheid van de waardevolle soort Tormentil (mf/sf). De aanwezigheid van Tormentil wijst op zeer zwak gebufferd tot matig gebufferde omstandigheden, op plaatsen met toestroming van basenarm grondwater. Verder is Pijpestrootje, Struikhei en Gewone Dophei aangetroffen.

De venvegetatie van de terrestische zone wijst op lokale verschillen. Het overheersende beeld wordt echter gegeven door een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

B23ven

- ***Aquatische/amfibische zone:***

Draadzegge (c)
Snavelzegge (c/zf)
Zompzegge (c/zf)
Waternavel (mf/sf, -)
Moerashertshooi (mf/sf)

Snavelzegge, Knolrus, Pitrus, Veelstengelige Waterbies en Kruipend Struisgras komen in de amfibische zone voor en duiden op lichte eutrofiëring en ongebufferde tot zwak gebufferde omstandigheden. Moerashertshooi wordt vaak op plaatsen aangetroffen waar kwel optreedt.

De venvegetatie van de amfibische zone duidt op een venpeilamplitude van gemiddeld **ongeveer 15 cm**.

- ***Terrestische zone:***

Gewone Dophei (mf/sf)
Bochtige Smele (mf/sf)
Gewone Braam (sf)

De terrestische zone van ven 32 wordt gekenmerkt door Pijpestrootje, Struikhei, Veelstengelige Waterbies en Bochtige Smele.

De venvegetatie van de terrestisch zone wijst op een lichte eutrofiëring en ongebufferde tot zwak gebufferde omstandigheden en een venpeilamplitude **groter dan 15 cm**.

6.6.2 Vergelijking met de resultaten van Menyanthes

Tabel 6.4 geeft een vergelijking tussen de eisen van de venvegetatie aan de waterstandamplitude en de resultaten van Menyanthes. De vegetatie van de aquatische/amfibische zone bepaalt hierbij de eisen aan de venpeilamplitude, de vegetatie van de terrestische zone bepaalt de grondwaterstandamplitude.

Tabel 6.4. Vergelijking tussen de eisen van de venvegetatie aan de venpeil- en waterstandamplitude en de in Menyanthes berekende venpeilamplitude.

Meetpunt nr.	***Venpeil amplitude (cm)***	***Grondwaterstand amplitude (cm)***	***Venpeilamplitude volgens Menyanthes (cm)***
B9ven, B10ven, B11ven	<15	> 15	14
B14ven, B15ven	<15	> 15	35
B16ven	> 15	> 15	20
B24ven	<15	> 15	14
B22ven	> 15	> 15	36
B23ven	≈ 15	> 15	25

Allereerst valt op te merken dat de eisen van de vegetatie van de terrestische zone voor elk ven hetzelfde is. Ook de kenmerkende soorten in de terrestische zone zijn voor elk ven ongeveer gelijk.

De eisen van de vegetatie van de aquatische/amfibische zone aan de venpeilamplitude kan onderverdeeld worden in twee klassen: groter of kleiner dan 15 cm. Te zien is dat alleen voor B14ven, B15ven de eisen van de venvegetatie aan de venpeilamplitude (<15 cm) afwijkt van de in Menyanthes berekende venpeilamplitude (35 cm). Opgemerkt moet worden dat in dit ven de eisen van de venvegetatie berust op slechts één soort. Ook in de andere vennen is het aantal soorten, waarop de conclusie berust slechts gering.

In het algemeen correleert de berekende venpeilamplitude in Menyanthes met de eisen van de venvegetatie van de aquatische/amfibische zone.

7 Interpretatie resultaten Menyanthes aan de hand van een waterbalans beschouwing

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van Menyanthes vergeleken met een simpele waterbalansbeschouwing. Hoofdstuk 7.2 geeft de uitkomsten van deze waterbalansbeschouwing, waarna in hoofdstuk 7.3 de resultaten worden vergeleken met de resultaten van Menyanthes.

7.2 Waterbalans beschouwing

Voor deze berekening wordt het verschil in venpeil tussen half januari 2002 en eind februari 2002 bepaald. Omdat de venpeilen van de verschillende vensystemen niet op exact dezelfde data zijn gemeten, is het verschil in venpeil voor een aantal vennen over een periode van 43 dagen berekend, terwijl voor andere vennen het verschil over een periode van 46 dagen (tabel 7.1) is berekend. De periode valt na een periode van droogte en heeft een neerslagoverschot (tabel 7.1).

Tabel 7.1. Neerslag en verdamping in de periode half januari 2002 en eind februari 2002.

Periode	Aant. dagen	P	E_{act}	$P - E_{act}$	$P\text{-}f\cdot E_{act}$
16/01/02-28/02/02	43	197 mm	24 mm	174 mm	171 mm
13/01/02-01/03/02	46	205 mm	24 mm	180 mm	177 mm

P = neerslag gemeten op Meteostation Roermond
E_{act} = verdamping gemeten op Meteostation Eindhoven
F = 1.13 (gemiddelde van de in Menyanthes berekende reductiefactor van alle meetpunten)

De gemiddelde kwel- of toestromingsflux Q (m^3/dag) en q (mm/dag) gedurende deze perioden is berekend volgens vergelijking 7.1 en 7.2. De uitkomsten staan weergegeven in tabel 7.2.

$$Q = (\Delta h\text{-}\Delta Nn)\cdot A_{ven} / \Delta t \qquad \textit{verg. 7.1}$$

$$q = (\Delta h\text{-}\Delta Nn)\cdot 1000/ \Delta t \qquad \textit{verg. 7.2}$$

Q = kwel- of toestromingsflux (m^3/dag)
q = kwel- of toestromingsflux (mm/dag)
Δh = venpeilverandering (m)
ΔNn = verandering netto neerslag ($P\text{-}f\cdot E_{act}$) (m)
A_{ven} = venoppervlak (m^2)
Δt = tijdsverandering (dag)

Tabel 7.2. Berekende kwel- en of toestromingsflux Q (m^3/dag) en q (mm/dag), positief is opwaartse kwel.

	B10ven	B11ven	B9ven	B24ven	B23ven	B16ven	B15ven	B14ven	B22ven
Q (m^3/dag)									
f = 1.13	-0,93	-0,93	-1,40	0,00	3,13	7,26	5,02	4,19	13,70
f = 1	-1,12	-1,12	-1,59	-0,40	2,97	7,01	4,94	4,10	13,13
gemiddelde	*-1,03*	*-1,03*	*-1,49*	*-0,20*	*3,05*	*7,13*	*4,98*	*4,14*	*13,41*
q (mm/dag)									
f = 1.13	-0,47	-0,47	-0,70	0,00	1,74	2,79	5,58	4,65	2,17
f = 1	-0,56	-0,56	-0,79	-0,09	1,65	2,70	5,49	4,56	2,08
gemiddelde	*-0,51*	*-0,51*	*-0,75*	*-0,04*	*1,69*	*2,74*	*5,53*	*4,60*	*2,13*

7.3 Vergelijking met de resultaten van Menyanthes

Onderstaande figuren 7.1 en 7.2 geven een vergelijking tussen respectievelijk de berekende gemiddelde kwelflux Q (m^3/dag) en h_j en q (mm/dag) en h_j.

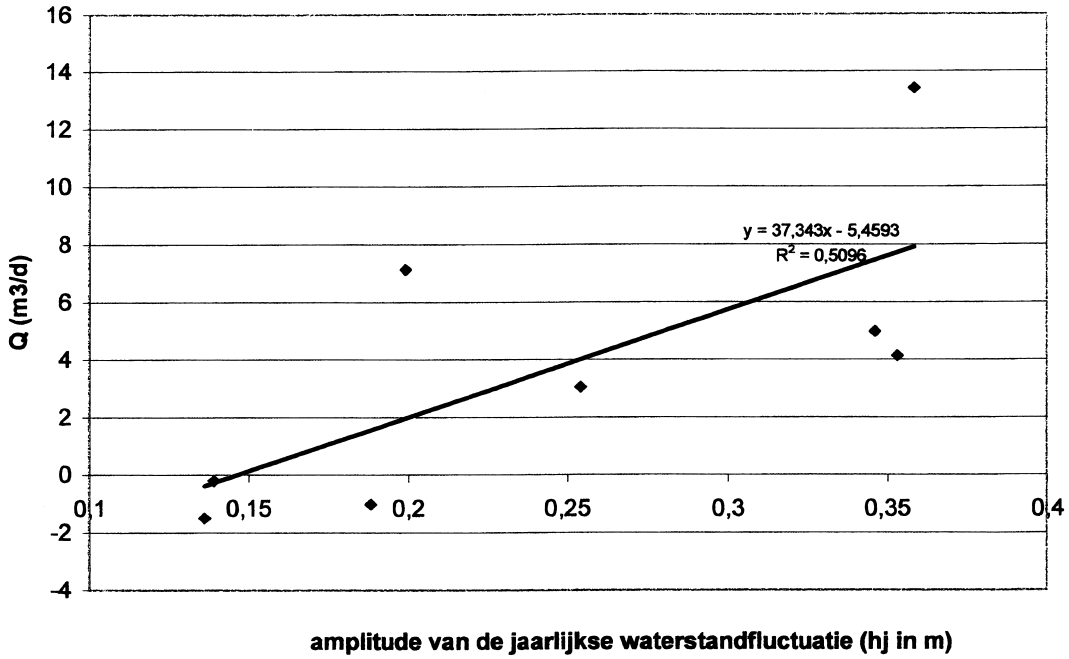


Fig. 7.1. Vergelijking tussen de berekende gemiddelde kwelflux Q (m^3/dag) gedurende een periode met neerslagoverschot en de met Menyanthes berekende waterstandfluctuatie (h_j).

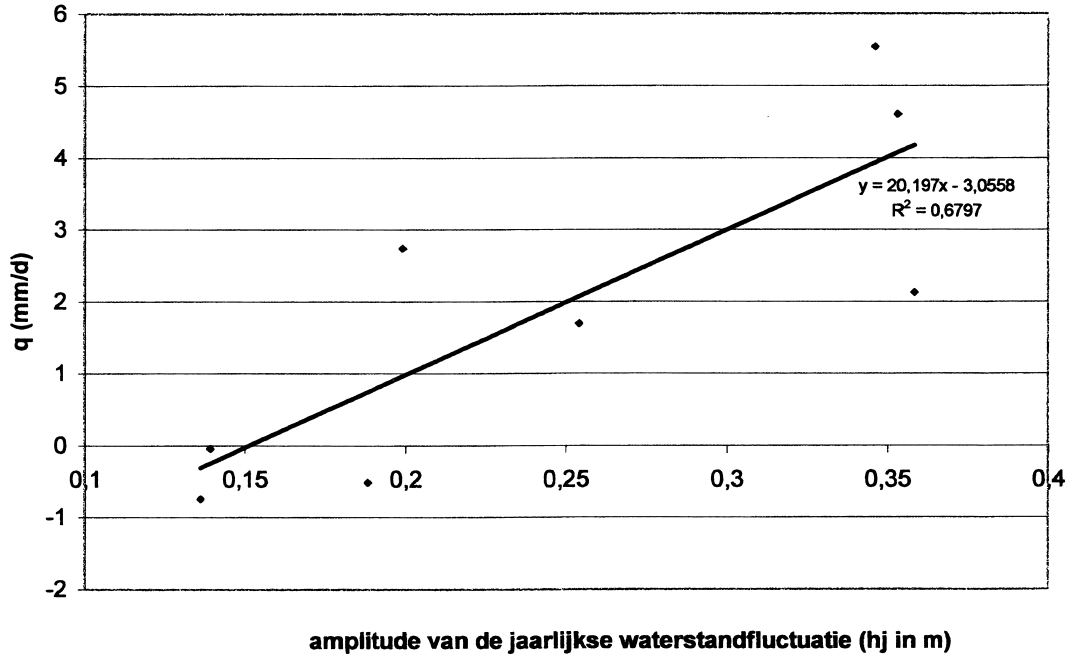


Fig. 7.2. Vergelijking tussen de berekende gemiddelde kwelflux q (mm/dag) gedurende een periode met neerslagoverschot en de met Menyanthes berekende waterstandfluctuatie (h_j).

Te zien is dat de grootte van de kwelflux van zowel Q als q in natte perioden positief gecorreleerd is aan h_j. Dit is volgens verwachting omdat meer kwel in natte perioden een grotere waterstandfluctuatie veroorzaakt (hoofdstuk 2.2). Q laat een minder duidelijk verband zien dan q, wat veroorzaakt wordt door het verschil in venoppervlakte. Toch blijkt de invloed van het verschil in venoppervlakte niet zo groot te zijn (R^2=0.51 voor de relatie tussen Q en h_j, terwijl R^2=0.68 voor de relatie tussen q en h_j). Omdat zowel h_j als de kwelflux afhankelijk zijn van Δh, is het ook te verwachten dat een verband wordt gevonden.

Opmerkelijk is dat voor een aantal meetpunten een negatieve kwelflux, oftewel wegzijging is berekend gedurende de meetperiode met neerslagoverschot. Deze wegzijging is berekend voor de systemen, waar gedurende de meetperiode slechts een kleine venpeilverandering optreedt. De gevonden wegzijgingsfluxen zijn te verklaren doordat aangenomen is dat het naijleffect te verwaarlozen is. Het naijleffect wordt veroorzaakt doordat, door het verschil in bergingscoëfficiënt van het ven en de omgeving, de grondwaterstand in droge perioden lager is dan het venpeil, terwijl de grondwaterstand in natte perioden hoger is dan het venpeil (hoofdstuk 2.2). Hierdoor treedt in natte perioden (zoals in de meetperiode) stroming op vanuit de omgeving richting het ven. Deze stroming gaat na een neerslagimpuls nog enige tijd door; het zogenaamde naijleffect. Omgekeerd treedt in droge perioden stroming op vanuit de het ven richting de omgeving. Ook deze stroming gaat na een droge periode nog enige tijd door.

8 Discussie, conclusies en aanbevelingen

8.1 Discussie

8.1.1 Algemeen

Uit het onderzoek naar de hydrologie van vennen in schijngrondwatersystemen blijkt dat de reactie van het venpeil op een neerslagimpuls afhangt van vele factoren. De belangrijkste twee factoren lijken de grootte van het schijngrondwatersysteem en de ligging van het ven in dit systeem te zijn. Er wordt verder vanuit gegaan dat de overige factoren (zoals bijvoorbeeld de in- en uittreeweerstand) slechts een geringe invloed hebben op de verschillen in reactie van het venpeil op een neerslagimpuls van de vennen in de Beegderheide. Er wordt vanuit gegaan dat de overige factoren verwaarloosd kunnen worden ten opzichte van de invloed van de grootte van het schijngrondwatersysteem en/of de ligging van het ven in dit systeem.

Verder blijkt uit het onderzoek dat de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie h_j de beste maat is om de resultaten van Menyanthes (de responscurven) onderling te vergelijken. Het grote voordeel van h_j is dat dit kenmerk afhankelijk is van alledrie de parameters van het PIRFICT model (A, a en n) en fysisch interpreteerbaar is. Het nadeel van h_j is dat h_j beïnvloed wordt door zowel de grootte van het schijngrondwatersysteem als de ligging van het ven in dit systeem.

De verhouding tussen de straal van het ven en de straal van het schijngrondwatersysteem (R_1/R_2) is ook afhankelijk van A, a en n. Daarnaast lijkt het alsof R_1/R_2 direct inzicht verschaft in de grootte van het schijngrondwatersysteem, maar dit is niet helemaal het geval. Bij de berekening van R_1/R_2 wordt namelijk aangenomen dat het ven in het midden van het schijngrondwatersysteem ligt. De reactie van het venpeil op een neerslagimpuls (waaruit R_1/R_2 wordt berekend) is echter ook sterk afhankelijk van de ligging van het ven in het systeem. R_1/R_2 is dus, in tegenstelling tot h_j, alleen fysisch interpreteerbaar als het ven in het midden van het schijngrondwatersysteem ligt.

De parametercombinatie $1/(A \cdot a)$ verschaft inzicht in de grootte van de gemiddelde bergingscoëfficiënt. Mogelijk kan deze parametercombinatie in de praktijk gebruikt worden om de gemiddelde bergingscoëfficiënt beter te kunnen schatten. Meer onderzoek hiernaar is gewenst.

Het blijkt dat momenteel geen parameter(combinatie) beschikbaar is, die alleen afhangt van de grootte van het schijngrondwatersysteem of waaruit de ligging van het ven in het systeem kan worden geschat. Dit is echter wel noodzakelijk om uiteindelijk de grootte van het schijngrondwatersysteem uit tijdreeksanalyse te kunnen schatten.

8.1.2 Resultaten

Tabel 8.1 geeft een overzicht van de kenmerken van de venmeetpunten.

Tabel 8.1. Overzicht van alle kenmerken per ven.

	Resultaten Menyanthes			**Veldkenmerken**				**Waterbalans**
Vennr.	h_j **(m)**	R_1/R_2 **(-)**	$1/(A \cdot a)$ **(-)**	***Gem. potentiaal verschil (cm)***	***EGV (µS/cm)***	***Diam. ven/diam. intrek (-)***	***Eisen veg. venpeil amplitude (m)***	***Gem. kwelflux q (mm/dag)***
B9ven	0.14	1.04	1.09	3.2	51.0	0.59	<0.15	-0.8
B10ven	0.09	2.10	2.11	-	-	-	-	-0.5
B11ven	0.19	0.70	0.72	-	-	0.44	-	-0.5
B14ven	0.35	0.36	0.34	8.1	62.1	0.30	<0.15	4.6
B15ven	0.35	0.31	0.25	-	-	-	-	5.5
B16ven	0.20	0.56	0.51	3.8	38.2	0.55	>0.15	2.7
B22ven	0.36	0.29	0.22	1.6	38.8	0.08	>0.15	2.1
B23ven	0.25	0.47	0.41	2.0	31.9	0.20	≈ 0.15	1.7
B24ven	0.14	1.08	1.16	7.4	29.9	0.38	<0.15	-0.04

NB. Eisen veg. venpeilamplitude = eisen van de vegetatie aan de venpeilamplitude

In tabel 8.1 ontbreken enkele gegevens. De verklaring hiervoor is dat de venmeetpunten B9ven, B10ven en B11ven in één ven gelegen zijn en dat ook B14ven en B15ven regelmatig via het oppervlaktewater met elkaar in verbinding staan. Enkele gegevens zijn voor het hele ven gelijk en daarom maar één keer in de tabel opgenomen.

Opmerkelijk is dat de parameters R_1/R_2 en $1/(A \cdot a)$ nagenoeg gelijk zijn aan elkaar. Hiernaar en naar de relatie tussen deze parameters en h_j is meer onderzoek gewenst (bijlage H).

De verschillen tussen de vennen in het potentiaalverschil tussen het grond- en oppervlaktewater en het EGV zijn slechts gering en er bestaat geen duidelijk verband tussen h_j en de gemeten potentiaalverschillen of tussen h_j en het EGV. Hierdoor leveren de gemeten potentiaalverschillen en het EGV geen nuttige aanwijzingen op over de venpeilamplitude of andere (geo)hydrologische eigenschappen.

De eisen van de venvegetatie aan de venpeilamplitude komt voor de meeste meetpunten overeen met h_j. Hierbij moet echter in gedachten worden gehouden dat de conclusie over de eisen van de venvegetatie op slechts enkele differentiërende soorten berust.

De gemiddelde kwelflux q is positief gecorreleerd met h_j. Maar omdat zowel de gemiddelde kwelflux q als h_j afhankelijk zijn van de verandering van de waterstand tijdens de meetperiode (Δh), is het ook te verwachten dat er een verband gevonden wordt en is dit kenmerk dus niet geheel onafhankelijk.

Naast de kenmerken, die vermeld zijn in tabel 8.1, is h_j ook vergeleken met de beschikbare geohydrologische doorsneden. Alle gevonden h_j waarden blijken met de geohydrologische doorsneden verklaarbaar te zijn (door de grootte van het schijngrondwatersysteem of door de ligging van het ven in het systeem).

8.1.3 Interpretatie van de resultaten

De resultaten van Menyanthes laten zien dat de gemeten vennen in de Beegderheide onder te verdelen zijn in drie groepen:

groep A: B9ven, B10ven, B11ven en B24ven
groep B: B16ven en B23ven
groep C: B14ven, B15ven en B22ven

De vennen in groep A hebben een relatief kleine h_j en zijn snelreagerende systemen. De verwachting is daarom dat deze vennen in een relatief klein schijngrondwatersysteem liggen en/of dat deze vennen aan de rand van het systeem liggen. Ook het bodemprofiel van B9ven, B10ven, B11ven laat dit zien, onder dit ven is namelijk een ironpan aanwezig, die het ven mogelijk isoleert van de omgeving. Het bodemprofiel van B24ven levert geen duidelijke aanwijzingen op over de grootte van of de ligging in het schijngrondwatersysteem. De gevonden verhouding tussen de diameter van het ven en de diameter van het intrekgebied is voor de vennen in deze groep relatief groot. Dit komt overeen met de verwachting dat de vennen een relatief klein schijngrondwatersysteem hebben. Verder eist de venvegetatie van beide vennen een venpeilamplitude kleiner dan 15 cm, wat overeenkomt met h_j. De gemiddelde kwelflux q is voor alle vennen in deze groep klein (negatief), wat inhoudt dat de vennen een kleine venpeilamplitude en dus ook een relatief kleine h_j hebben.

De vennen in groep B hebben een gemiddelde h_j en zijn matig-snelreagerende systemen. De verwachting is dat deze vennen in een schijngrondwatersysteem liggen met een gemiddelde grootte en/of dat deze vennen niet in het midden, maar ook niet aan de rand van het systeem liggen. De bodemprofielen van B16ven en B23ven geven beide aanwijzingen dat deze vennen meer aan de rand van het systeem gelegen zijn dan de vennen uit groep C. De berekende verhouding tussen de diameter van het ven en de diameter van het intrekgebied is voor B16ven relatief groot en voor B23ven relatief klein en lijken dus niet overeen te komen met de verwachting dat de vennen in deze groep in een schijngrondwatersysteem liggen van gemiddelde grootte. Deze relatief grote en kleine verhouding zijn echter te verklaren door respectievelijk een overschatting van de venbreedte en een overschatting van de grootte van

het intrekgebied (hoofdstuk 6.5). De eisen van de venvegetatie aan de venpeilamplitude is voor beide vennen groter dan 15 cm en komt overeen met de berekende h_j, die ook groter is dan 15 cm. De grootte van de berekende kwelflux q is voor beide vennen in groep B gemiddeld en komt overeen met een gemiddelde h_j.

De vennen in de laatste groep, groep C, hebben een relatief grote waarde voor h_j en zijn relatief traagreagerende systemen. De verwachting is dat deze vennen gelegen zijn in een groot schijngrondwatersysteem en/of in het midden van het systeem. De bodemprofielen van B14ven, B15ven en B22ven geven aanwijzingen dat deze vennen meer in het midden van het schijngrondwatersysteem liggen dan de vennen uit groep B of dat B22ven in een apart, waarschijnlijk relatief groot, schijngrondwatersysteem ligt. De verhouding tussen de diameter van het ven en de diameter van het intrekgebied is relatief klein (<0.20), wat overeen komt met de verwachting dat het ven in een relatief groot schijngrondwatersysteem ligt. De eisen van de vegetatie aan de venpeilamplitude komen voor B22ven ook overeen met h_j (>15cm). Voor B14ven, B15ven komt de eis aan de venpeilamplitude (<15 cm) echter niet overeen met h_j (>15cm). Hierbij speelt waarschijnlijk mee dat de eis aan de venpeilamplitude slechts berust op één plantensoort. De berekende kwelflux q is voor B14ven, B15ven groot en weerspiegelt een grote h_j. De berekende kwelflux q is voor B22ven echter klein en komt dus, in tegenstelling tot de bepaalde h_j in Menyanthes, overeen met een kleine h_j.

Zoals uit bovenstaande analyse blijkt, geldt voor de vennen in de Beegderheide dat de resultaten van Menyanthes over het algemeen overeenkomen met de overige kenmerken van het ven (behalve met het potentiaalverschil en het EGV, die voor alle vennen klein zijn). Ook lijkt de venvegetatie gecorreleerd te zijn met h_j. Kwantitatief is het echter (nog) moeilijk hier verdere uitspraken over te doen, mede doordat de venpeilamplitude afhankelijk is van zowel de grootte van het schijngrondwatersysteem, als de ligging van het ven in dit systeem.

8.2 Conclusies

Het onderzoek is van start gegaan met twee hoofdonderzoeksvragen en vier subonderzoeksvragen. Allereerst wordt in grote lijnen op de twee hoofdonderzoeksvragen (H.1 en H.2) ingegaan. Vervolgens wordt dit verder uitgewerkt aan de hand van de vier subonderzoeksvragen (S.1 t/m S.2).

Hoofdonderzoeksvragen

H.1. Wat zeggen de resultaten van het PIRFICT model over de geohydrologische eigenschappen van schijngrondwatervennen.

De resultaten ven het PIRFICT model geven informatie over de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie (h_j), de gemiddelde bergingscoëfficiënt, de mate van vertraging tussen impuls en respons en de hoogte van de waterstand bij een oneindig lange constante neerslag van één mm. Ook laat het PIRFICT model zien dat de niet-lineairiteit van venpeilen, mits het ven niet geregeld droogvalt, niet groter is dan de niet-lineairiteit van grondwaterstanden. Daarnaast geeft het PIRFICT model bij een niet goede beschrijving van de grondwaterstanden (percentage verklaarde variantie <70%) aanwijzing over de aanwezigheid van slechtdoorlatende lagen.

H.2. In hoeverre kan de mate van uitwisseling van water met de omgeving en de grootte van het intrekgebied van vennen in schijngrondwatersystemen bepaald worden aan de hand van tijdreeksanalyse met Menyanthes van venpeilen.

Het is zonder verdere veldkennis nog niet mogelijk om de mate van uitwisseling van water met de omgeving of de grootte van het intrekgebied van de vennen te schatten. De tijdreeksanalyse met Menyanthes berekent namelijk de reactie van het venpeil op een neerslagimpuls. Deze reactie wordt beïnvloed door vele factoren, waarbij de belangrijkste twee factoren de grootte van het schijngrondwatersysteem en de ligging van het ven in dit systeem lijken te zijn. Omdat alleen bekend is hoe deze twee kenmerken gecombineerd de reactie beïnvloeden, is het nog niet mogelijk één van beide kenmerken afzonderlijk te schatten.

Subonderzoeksvragen

S.1. Levert de tijdreeksanalyse van venpeilen informatie over de geohydrologische eigenschappen van het vensysteem, zoals de verhouding tussen het grond- en oppervlaktewater en het niet lineaire gedrag van vennen?

De tijdreeksanalyse levert enige aanwijzingen op over de geohydrologische eigenschappen van het schijngrondwatersysteem. Zodra Menyanthes de waterstanden niet goed beschrijft (percentage verklaarde variantie <70%), is er sprake van een duidelijke niet-lineairiteit. Deze niet-lineairiteit kan voor enkele meetpunten in de Beegderheide toe worden geschreven aan een slechtdoorlatende laag vlak boven het filter van dat meetpunt. Tevens is bij één responscurve vertraging, vermoedelijk veroorzaakt door een slechtdoorlatende laag, zichtbaar.

Daarnaast laat het PIRFICT model zien dat het niet-lineaire gedrag van vennen, mits het meetpunt niet geregeld droogvalt, niet groter is dan het niet-lineaire gedrag van grondwaterstanden. Het percentage verklaarde variantie van de modeluitkomsten van de venpeilen is namelijk, mits het ven niet geregeld droog valt, evenals het percentage verklaarde variantie van de modeluitkomsten van grondwaterstanden, over het algemeen groter dan 70%.

Verder levert tijdreeksanalyse inzicht op over de amplitude van de jaarlijkse waterstandfluctuatie (h_j), de gemiddelde bergingscoëfficiënt, de mate van vertraging tussen impuls en respons en de hoogte van de waterstand bij een oneindig lange constante neerslag van één mm. h_j is van deze kenmerken het meest geschikt om de responscurven van de vennen onderling te vergelijken.

Duidelijke, maar relatief kleine verschillen tussen de karakteristieken van de responscurven van de venpeilen worden veroorzaakt door de plaats in het ven waar gemeten wordt (het al dan niet droogvallen van de meetlocatie). In de Beegderheide is namelijk in twee vennen op meerdere plaatsen in het ven het venpeil gemeten. De responscurven van deze meetpunten vertonen echter afwijkingen, die veroorzaakt worden door het wel of niet droogvallen van de meetlocatie in droge perioden.

Verwacht werd dat de meting van de potentiaalverschillen tussen grond- en oppervlaktewater en de meting van het EGV van de vennen in de Beegderheide informatie op zou leveren over de (lokale grond-) waterstroming in het gebied. In de vennen is echter geen verband tussen de potentiaalverschillen en h_j (de potentiaalverschillen zijn klein en moeilijk te verklaren) te zien. Ook is er geen relatie tussen het EGV en h_j (het EGV is in alle vennen laag). De meting van de potentiaalverschillen en de meting van het EGV hebben dus geen informatie opgeleverd over de geohydrologische eigenschappen van het systeem.

S.2. Is met behulp van tijdreeksanalyse de verhouding tussen het venoppervlak en het oppervlak van het schijngrondwatersysteem te bepalen?

Het is met tijdreeksanalyse van venpeilen zonder verdere veldkennis niet mogelijk een verhouding tussen het venoppervlak en het oppervlak van het schijngrondwatersysteem te bepalen. Deze verhouding is namelijk voor de vennen in de Beegderheide zowel afhankelijk van de grootte van het schijngrondwatersysteem als de ligging van het ven in dit systeem. Wordt aangenomen dat het ven in het midden van het schijngrondwatersysteem ligt, dan is deze verhouding wel te berekenen (bijlage G). Zonder verdere veldkennis mogen hier echter geen conclusies aan worden verbonden en is de verhouding nog niet bruikbaar om te bepalen wat de effecten van uit te voeren beheersmaatregelen (bijvoorbeeld bosverwijdering) zullen zijn.

S.3. Hoe houden de karakteristieken van de impuls-responsfuncties, zoals gebruikt in Menyanthes, verband met de venvegetatie?

De eisen van de venvegetatie aan de venpeilamplitude lijken te correleren met h_j. Wel moet opgemerkt worden dat deze conclusie berust op slechts enkele differentiërende soorten.

S.4. In hoeverre levert een simpele beschouwing van de waterbalans informatie op over de hydrologische eigenschappen van het vensysteem en zijn intrekgebied en in hoeverre komt dit overeen met de resultaten uit het PIRFICT model?

Een simpele beschouwing van de waterbalans levert inzicht op over de grootte van de kwelflux in het ven gedurende een natte periode. Een vergelijking tussen h_j en deze kwelflux geeft een relatie weer (een grote h_j komt overeen met een grote flux). Omdat h_j en de kwelflux echter allebei afhankelijk zijn van de verandering van het venpeil gedurende de meetperiode, is het ook te verwachten dat dit verband gevonden wordt.

8.3 Aanbevelingen

Om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de h_j van vennen in schijngrondwatersystemen en de grootte van het schijngrondwatersysteem of de ligging van het ven in het systeem is het nuttig om de h_j van verschillende vennen in een gebied waar geen schijngrondwatersysteem aanwezig is of waar de randen van het systeem bekend zijn, te vergelijken. Het meest ideaal is als dit gebied ook uit dekzand bestaat, zodat een vergelijking met de vennen in de Beegderheide mogelijk is. Daarnaast is het interessant om de h_j van enkele vennen in hetzelfde schijngrondwatersysteem, maar met een andere, bekende, afstand tot de rand van het systeem, te vergelijken. Tevens kan een vergelijking van de h_j van vennen in een kalkrijk gebied met het EGV in die vennen nuttige informatie opleveren. Mogelijk is met een combinatie van h_j en het EGV de grootte van het intrekgebied te bepalen.

Daarnaast kan, om de correlatie tussen de venvegetatie en h_j verder te toetsen, de h_j van de vennen in een gebied met meer differentiatie van de venvegetatie vergeleken worden met de daar aanwezige venvegetatie.

Om een (nog) betere vergelijking tussen de responscurven van de vennen mogelijk te maken, wordt aanbevolen om bij nieuwe venmeetpunten de venpeilen zo mogelijk te meten op het diepste punt van het ven, zodat het eventueel droogvallen van de meetlocatie beperkt blijft.

Verder is het nuttig om meer metingen van de grondwaterstand in de directe omgeving van het ven (in het schijngrondwater waarmee het ven in directe verbinding staat) uit te voeren. Door een vergelijking van de responscurven van dit schijngrondwater en die van het venwater, kan meer inzicht verkregen worden over hoe het ven, lokaal, de grondwaterstand beïnvloedt.

Tevens is het voor een betere fysische interpretatie van de responscurven noodzakelijk dat er meer onderzoek komt naar de fysische betekenis van de karakteristieken van de responscurven, zoals de parametercombinatie $1/(A \cdot a)$. Mogelijk is deze parametercombinatie te gebruiken als maat voor de (gemiddelde) bergingscoëfficiënt. Ook is meer onderzoek gewenst naar de fysische interpretatie van de relatie tussen de verschillende karakteristieken, met name de relatie tussen $1/(A \cdot a)$, h_j en R_1/R_2.

Verder is het noodzakelijk te weten in hoeverre de reductiefactor f de overige karakteristieken van de responscurven beïnvloedt en of de aanname klopt dat de reductiefactor f de actuele verdamping goed beschrijft.

Tenslotte is het inzicht in de grootte van de kwel- of wegzijgingsflux van vennen onder extreem warme omstandigheden nog beperkt. Het, in deze warme periode, dagelijks meten van de grondwaterstand en het venpeil (en de grootte van de kwel- of wegzijgingsflux) is een mogelijkheid om hier meer inzicht in te krijgen.

Literatuurlijst

Aggenbach C.J.S., Maas C., Senden W.J.M.K.,1998a. *Ecohydrologisch onderzoek Beegderheide. Resultaten.* Opdrachtgever: Zuiveringschap Limburg en Waterschap Peel en Maasvallei, Kiwa, Nieuwegein.

Aggenbach C.J.S., Jalink M.H., Jansen A.J.M., 1998b. *Vennen. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiering van plantengemeenschappen in vennen.* Staatsbosbeheer, Driebergen.

Kruithof A.J., 2001. *De impuls-responsfunctie van de grondwaterspiegel. Scheiden van de invloed van de onverzadigde en de verzadigde zone.* Opdrachtgever: Technische Universiteit Delft en Kiwa Onderzoek en Advies, Delft.

Heijligers H.W.G., Hermans J.T., Teeuwen J., 2002. *De Beegderheide. Flora en fauna inventarisatie 2001.* Opdrachtgever: Gemeente Heel en Bosgroep Zuid Nederland, Natuurprojectenbureau Stichting 'De Lierelei', Roermond.

Iwaco, 2000. *Vennen in Limburg: waarden, ontwikkeling en herstel.* Opdrachtgever: Zuiveringschap Limburg en Waterschap Peel en Maasvallei, Maastricht.

Topografische Dienst, 1990. *Foto-atlas Limburg.* Uitgeverij Robas Producties. Emmen.

Van Dam H., Houweling H., Wortelboer F.G., Erisman J.W., Smeulders S.M., 1996. *Long-term changes of chemistry and biota in moorland pools in relation to changes in atmospheric deposition.* AquaSense, Ibn-dlo, Rivm, Wageningen.

Van Hoorn J.W., 1994. *Waterbeheersing.* Landbouwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen.

Von Asmuth J. R., Bierkens M. F. P., Maas C., 2001. *'Waarom doen alsof de neerslag eens per maand valt? Het discrete Box-Jenkins- versus het continue PIRFICT-tijdreeksmodel, in theorie'*, Stromingen 7, nummer 4.

Von Asmuth J.R., Knotters M., in prep. *'Characterising spatial differences in groundwater dynamics based on a system identification approach'.*

Warmerdam P.M.M., 1999. *Inleiding hydrologie B deel afvoerhydrologie.* Landbouwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen.

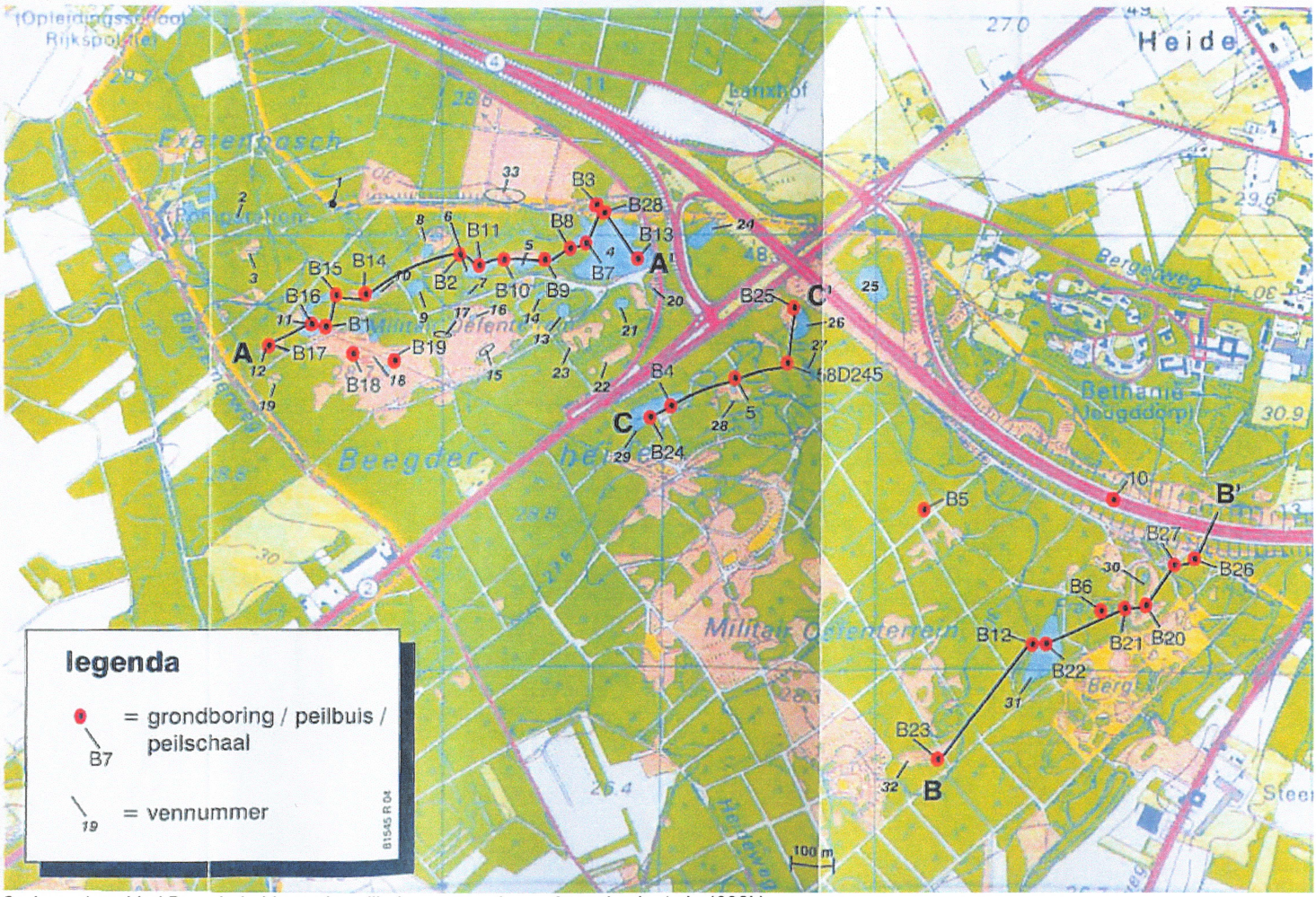
Internetsite:

www.knmi.nl

Bijlagen

Bijlage A. Onderzoeksgebied Beegderheide 54
Bijlage B. Meetperioden 55
Bijlage C. Overzicht gebruikte meetreeksen 56
Bijlage D. Modelinstellingen Menyanthes 57
Bijlage E. Resultaten van Menyanthes 58
Bijlage F. Betrouwbaarheidsparameters van de modeluitkomsten 61
Bijlage G. Afleiding formules voor M_0 en M_1 van een ven in een schijngrondwatersysteem 62
Bijlage H. Verband $1/(A \cdot a)$, R_1/R_2, h_j en (GHG-GLG)/2 65
Bijlage I. Invloed ventalud 68
Bijlage J. Geohydrologische doorsneden 70
Bijlage K. Potentiaal meting 72
Bijlage L. EGV meting 74
Bijlage M. Vegetatietypen 75

Bijlage A. Onderzoeksgebied Beegderheide



Onderzoeksgebied Beegderheide en de peilbuisnummers (naar: Aggenbach et al., 1998b).

Bijlage B. Meetperioden

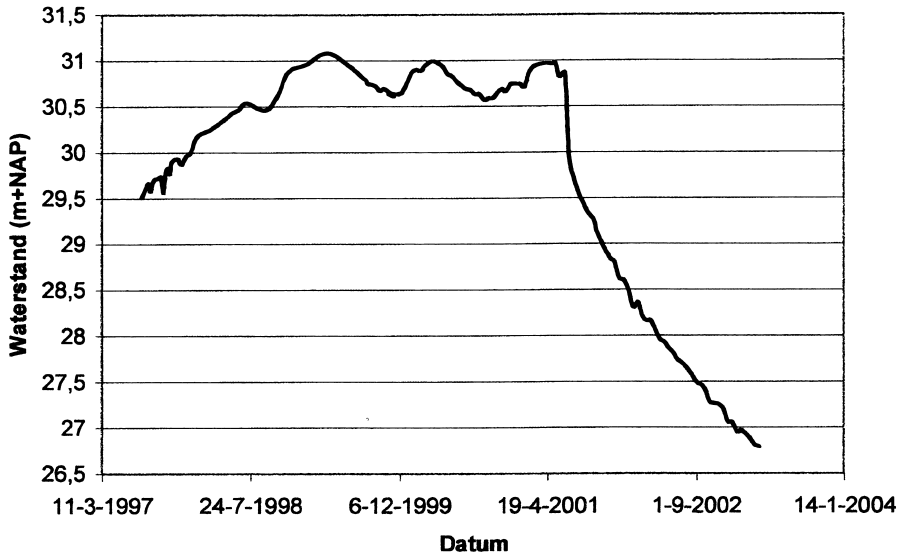
Overzicht van de meetperioden van de grondwaterstanden en venpeilen per meetpunt.

Meetpunt	Begin	Eind	Meetperiode (jr)
B1B	07-22-97	03-26-03	5,7
B2A	07-22-97	03-26-03	5,7
B2B	07-22-97	03-26-03	5,7
B4A	07-22-97	03-28-03	5,7
B4B	07-22-97	03-28-03	5,7
B5B	07-31-97	03-28-03	5,7
B6A	07-22-97	03-28-03	5,7
B6A2	07-22-97	06-15-01	3,9
B9ven	07-31-97	03-26-03	5,7
B10	07-22-97	03-26-03	5,7
B10ven	06-11-98	03-26-03	4,8
B11ven	01-29-98	03-26-03	5,2
B14ven	08-20-97	03-26-03	5,6
B15	07-31-97	03-26-03	5,7
B15ven	05-26-98	03-26-03	4,8
B16ven	07-22-97	03-26-03	5,7
B17A	09-03-97	05-29-01	3,7
B17B	07-28-99	03-26-03	3,7
B21	07-22-97	03-28-03	5,7
B22ven	07-22-97	03-28-03	5,7
B23ven	07-31-97	12-28-02	5,4
B24	03-12-98	03-28-03	5,0
B24ven	07-31-97	03-28-03	5,7
B26	07-22-97	03-28-03	5,7
B27	07-22-97	03-28-03	5,7
B272	07-22-97	03-28-03	5,7

Bijlage C. Overzicht gebruikte meetreeksen

De meetperiode van de peilbuizen was van augustus 1997 tot en met maart 2003. Enkele peilbuizen zijn over een kortere periode gemeten. Deze zijn weergegeven in bijlage B.

Bij meetpunt B6A is vanaf half 2001 een opmerkelijke daling van de grondwaterstand te zien (figuur), die niet verklaard kan worden uit de meteorologische gegevens. Deze meetreeks is daarom vervangen door B6A2. B6A2 is gelijk aan de meetreeks B6A, alleen zijn hierin de waarden na 15 juni 2001 weggelaten.



Grondwaterstanden meetreeks B6A.

Door de vervanging van de meetreeks B6A in B6A2 is het percentage verklaarde variantie in Menyanthes gestegen van –4naar 85 en valt de autocorrelatie binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval.

In meetreeks B27 is twee keer een extreem lage waarde voor de waterstand gemeten (kleiner dan de onderkant van de peilbuis). Deze meetreeks is vervangen door B272 waarin deze twee waarden zijn weggelaten. Het percentage verklaarde variantie is hierdoor gestegen van 61 naar 93.

Meetreeks B12ven en B22ven zijn in hetzelfde ven gemeten, waarbij B12ven vanaf juli 1999 gemeten is, en B22ven tot juli 1999. Deze meetreeksen zijn daarom beschouwd als één. De juistheid hiervan is niet helemaal zeker, omdat de twee meetpunten niet tegelijkertijd gemeten zijn en er dus geen soort ijking plaats heeft kunnen vinden.

Bijlage D. Modelinstellingen Menyanthes

Gebruikte modelinstellingen voor de analyse in Menyanthes.

Parameter	Waarde
Startup time	2000
Make equidistant	Uit
Resample series	2-weekly
Active	Aan
Delay time	0

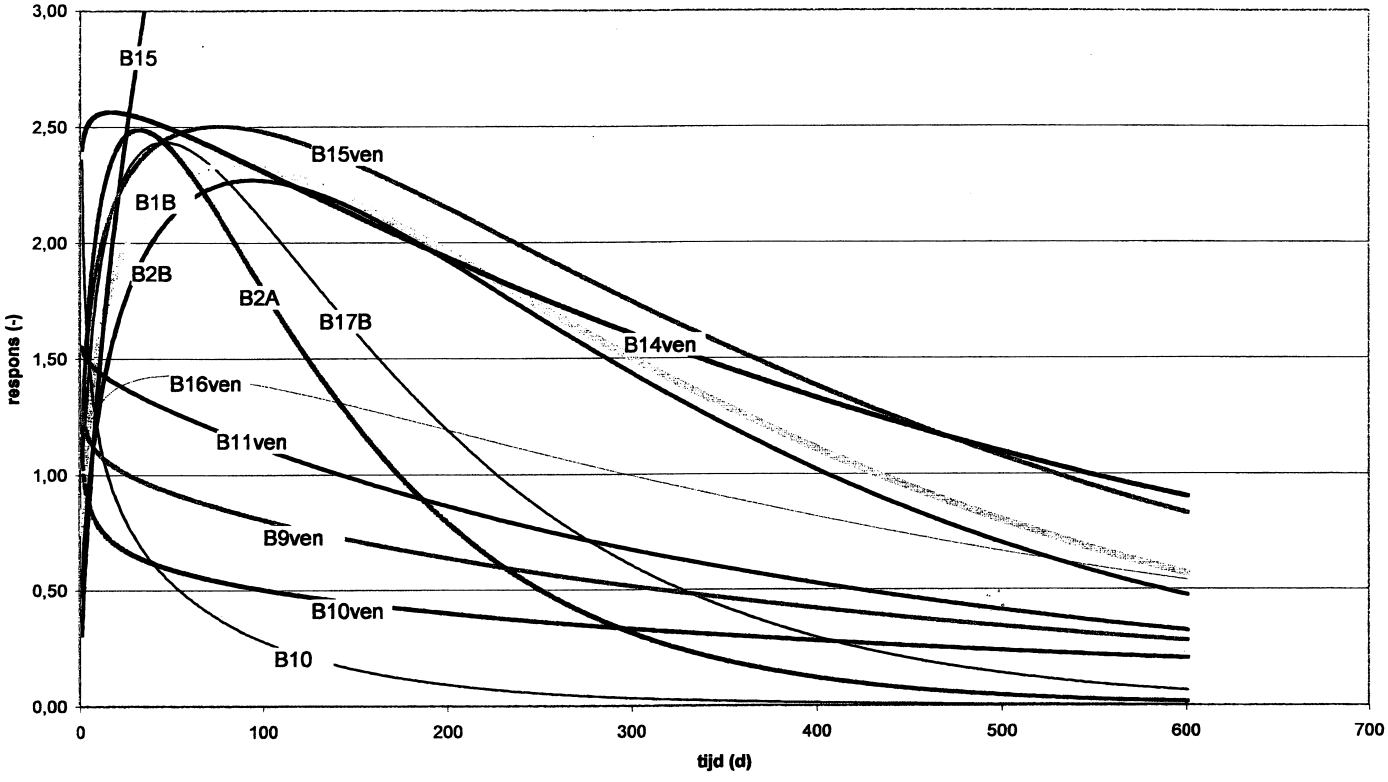
Bijlage E. Resultaten van Menyanthes

1. Overzicht van de parameters en kenmerken van de responscurven

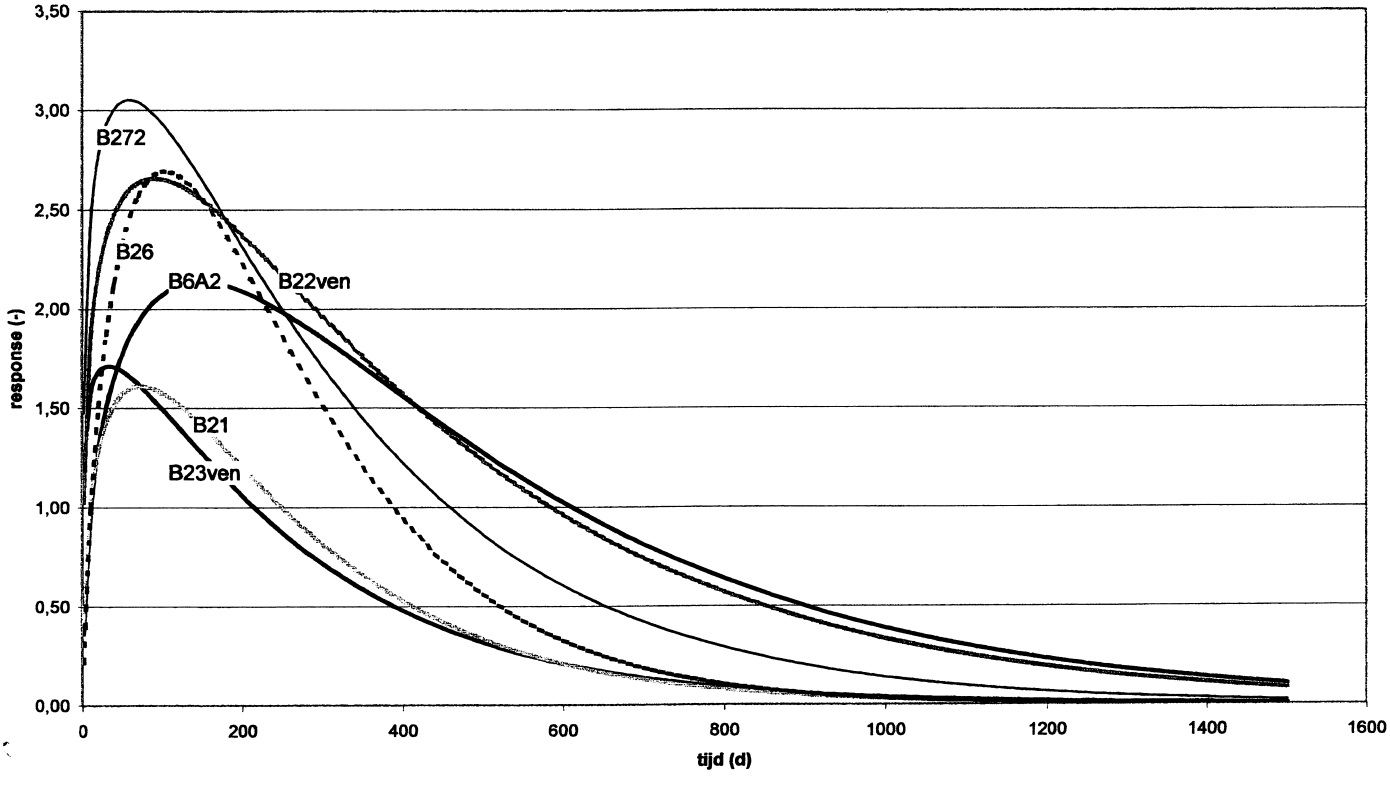
Overzicht van de parameters en kenmerken van de responscurven per meetpunt.

Meetpunt	*f* (-)	*A* (-)	*a* (d^{-})	n (-)	1/(*A*·*a*) (-)	h_j (m)
B1B	11.0	1048	0.0040	1.33	0.24	0.33
B2A	11.1	427	0.0106	1.35	0.22	0.40
B2B	11.0	953	0.0047	1.44	0.22	0.31
B4A	10.8	772	0.0092	2.23	0.14	0.33
B4B	11.3	3876	0.0000	1.04	-	-
B5B	10.9	995	0.0028	1.21	0.36	0.25
B6A2	11.2	1409	0.0030	1.44	0.24	0.25
B9ven	10.4	482	0.0019	0.94	1.09	0.14
B10	10.5	93	0.0092	0.73	1.17	0.12
B10ven	10.2	364	0.0013	0.86	2.11	0.09
B11ven	10.6	579	0.0024	0.98	0.72	0.19
B14ven	11.5	1461	0.0020	1.03	0.34	0.35
B15	11.7	8234	0.0020	1.66	0.06	0.52
B15ven	11.5	1336	0.0030	1.23	0.25	0.35
B16ven	11.1	850	0.0023	1.12	0.51	0.20
B17A	10.9	13950	0.0000	0.78	-	-
B17B	11.0	552	0.0083	1.38	0.22	0.39
B21	10.9	560	0.0055	1.40	0.32	0.24
B22ven	11.2	1492	0.0030	1.27	0.22	0.36
B23ven	11.2	548	0.0045	1.15	0.41	0.25
B24	13.3	869	0.0027	1.01	0.43	0.30
B24ven	10.6	785	0.0011	0.92	1.16	0.14
B26	11.8	940	0.0067	1.69	0.16	0.38
B272	12.3	1234	0.0040	1.24	0.20	0.44

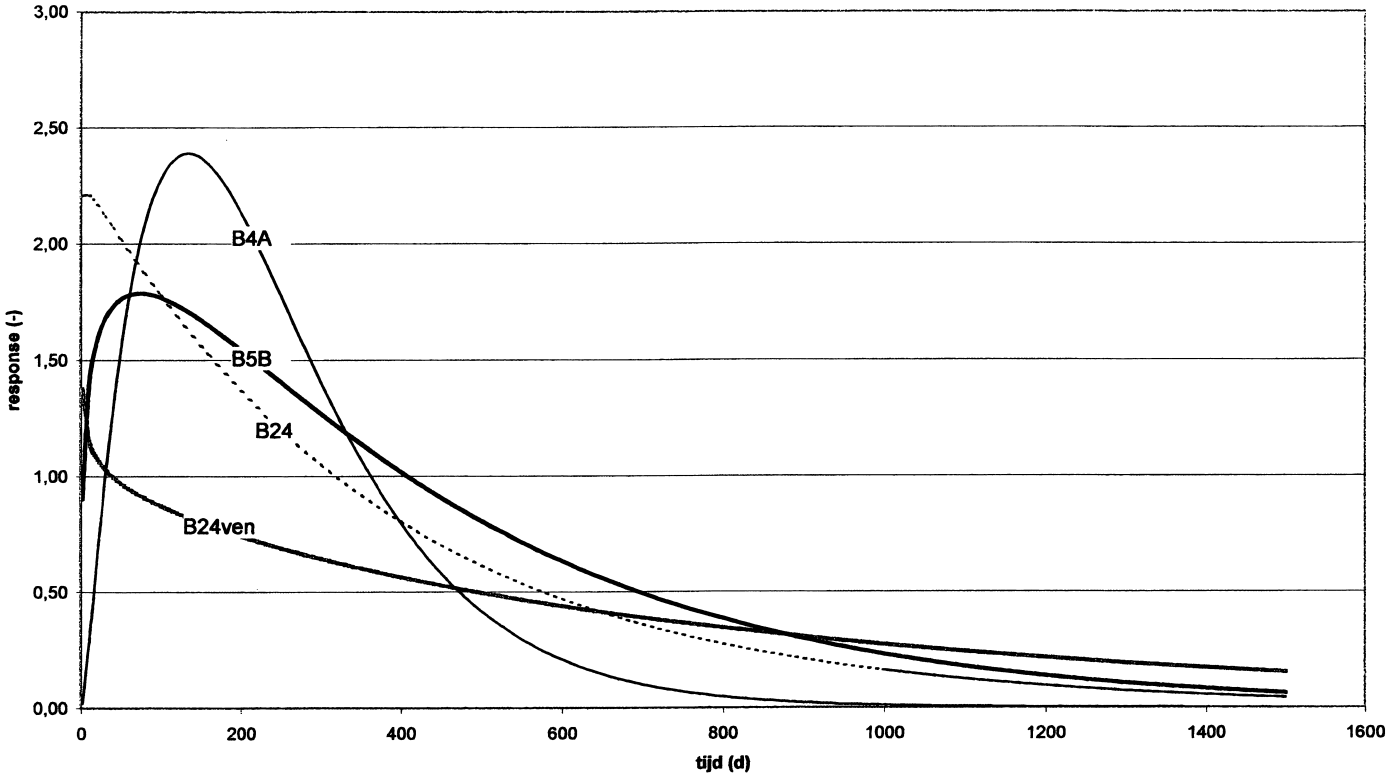
2. Responscurven Raai A-A'



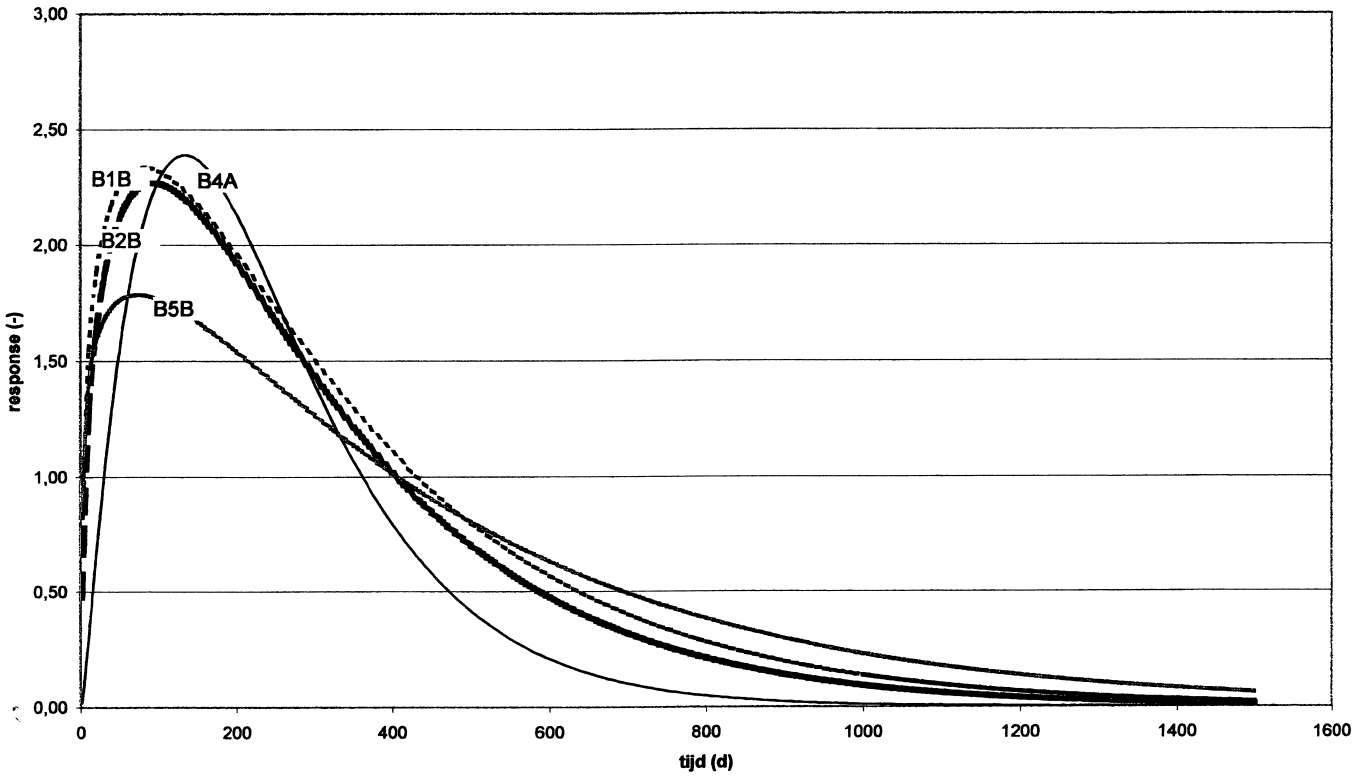
3. Responscurven Raai B-B'



4. Responscurven Raai C-C'



5. Responscurven watervoerendpakket



Bijlage F. Betrouwbaarheidsparameters van de modeluitkomsten

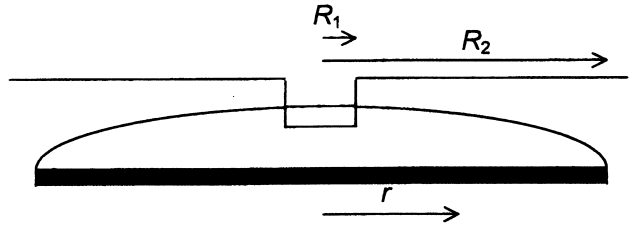
Betrouwbaarheidsparameters van de modeluitkomsten

Meetpunt	Percentage verklaarde variantie	95% betrouwbaarheidsinterval			Auto correlatie
		A	*a*	*n*	
B1B	88	197	0.001	0.214	+
B2A	63	246	0.007	0.192	+
B2B	85	225	0.002	0.283	+
B4A	71	343	0.007	1.179	+
B4B	58	34151	0.003	0.338	+
B5B	75	481	0.002	0.224	+
B6A2	85	373	0.001	0.258	+
B9ven	82	190	0.001	0.161	-
B10	31	187	0.039	0.537	-
B10ven	49	238	0.002	0.247	--
B11ven	87	234	0.002	0.158	+
B14ven	87	461	0.001	0.148	+
B15	96	3901	0.001	0.406	--
B15ven	84	545	0.001	0.212	+
B16ven	94	156	0.001	0.126	+
B17A	79	796752	0.002	0.205	--
B17B	85	238	0.005	0.228	+
B21	89	139	0.002	0.221	+
B22ven	98	108	0.000	0.089	+
B23ven	90	129	0.002	0.128	+
B24	78	545	0.002	0.290	+
B24ven	90	375	0.001	0.107	-
B26	92	191	0.002	0.339	+
B272	93	350	0.002	0.108	+

-- *autocorrelatie valt frequent buiten het 95% betr. interval*
- *autocorrelatie valt niet frequent buiten het 95% betr. interval*
\+ *autocorrelatie valt binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval*

Bijlage G. Afleiding formules voor M_0 en M_1 van een ven in een schijngrondwatersysteem

Naar: Kees Maas, 2003



Differentiaalvergelijking (verg. 1), randvoorwaarden (verg. 1a en 1b) en beginvoorwaarde (verg. 1c) voor het grondwatersysteem, uitgaande van een radiaal stelsel (φ, r) en venvoorstelling zoals hierboven (geen in- en uittreeweerstand, geen wegzijging naar diepere ondergrond):

$$kD\{\frac{\partial^2\varphi(r,t)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial r}\}=S\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial t}-\delta(t) \quad (1)$$

$$\varphi(R_2,t)=0 \quad (1a)$$

$$2\pi R_1 kD\frac{\partial\varphi(R_1,t)}{\partial r}=\pi R_1^2\frac{\partial\varphi(R_1,t)}{\partial t}-\pi R_1^2\delta(t) \quad (1b)$$

$$\varphi(r,-\infty)=0 \quad (1c)$$

Met:

kD	= doorlaatvermogen
φ	= stijghoogte
r	= afstand tot het midden van het ven
t	= tijd
S	= bergingscoëfficiënt
$\delta(t)$	= neerslagimpuls
R_1	= straal van het ven
R_2	= straal van het schijngrondwatersysteem

Het venpeil is gelijk aan $\varphi(r_1,t)$

$$\frac{\partial^2\varphi(r,t)}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial r}=\frac{S}{kD}\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial t}-\delta(t) \quad (1')$$

$$\varphi(R_2,t)=0 \quad (1a')$$

$$\frac{\partial\varphi(R_1,t)}{\partial r}=\frac{R_1}{2kD}\frac{\partial\varphi(R_1,t)}{\partial t}-\frac{R_1}{2kD}\delta(t) \quad (1b')$$

$$\varphi(r,-\infty)=0 \quad (1c')$$

Nulde moment *(= parameter A uit het PIRFICT model)*:

$$M_0=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi dt \quad (2)$$

Integreer alle vergelijkingen met betrekking tot t:

$$\frac{d^2M_0}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dM_0}{dr}=-\frac{1}{kD} \quad (3)$$

$$M_0(R_2) = 0 \tag{3a}$$

$$\frac{dM_o(R_1)}{dr} = -\frac{R_1}{2kD} \tag{3b}$$

Probeer $M_0 = Ar^2 + B$ (4)

$$2A + \frac{1}{r}2Ar = -\frac{1}{kD} \tag{5}$$

$$AR_2^2 + B = 0 \tag{5a}$$

$$2AR_1 = -\frac{R_1}{2kD} \tag{5b}$$

Oplossen: $A = -\frac{1}{4kD}$ en $B = \frac{R_2^2}{4kD}$. Invullen in (4):

$$M_0(r) = \frac{R_2^2 - r^2}{4kD} \tag{6}$$

Voor het venpeil geldt: $\boxed{M_0(R_1) = \frac{R_2^2 - R_1^2}{4kD}}$ (7)

<u>Eerst moment</u> *(= parametercombinatie (A·a)/n uit het PIRFICT model)*:

$$M_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi t dt \tag{8}$$

Vermenigvuldig alle vergelijkingen van het stelsel (1') met *t* en integreer met betrekking tot *t*:

$$\frac{d^2M_1}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dM_1}{dr} = -\frac{S}{kD}M_0 \tag{9}$$

$$M_1(R_2) = 0 \tag{9a}$$

$$\frac{dM_1(R_1)}{dr} = -\frac{R_1}{2kD}M_0(R_1) \tag{9b}$$

$$\frac{d^2M_1}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dM_1}{dr} = -\frac{S}{kD}\frac{R_2^2 - r^2}{4kD} \tag{9'}$$

$$M_1(R_2) = 0 \quad \text{(9a')}$$

$$\frac{dM_1(R_1)}{dr} = -\frac{R_1}{2kD}\frac{R_2^2 - R_1^2}{4kD} \quad \text{(9b')}$$

Om de notatie te vereenvoudigen wordt bovenstaande dimensieloos gemaakt:

$$M_1 = m_1\frac{SR_2^4}{64kD^2} \tag{10}$$

$$R = \frac{r}{R_2} \tag{11}$$

$$\alpha = \frac{R_1}{R_2} \tag{12}$$

dan

$$\frac{d^2 m_1}{dR^2} + \frac{1}{R}\frac{dm_1}{dR} = 16(R^2 - 1) \tag{13}$$

$$m_1(1) = 0 \tag{13a}$$

$$\frac{dm_1(\alpha)}{dR} = -\frac{8}{S}\alpha(1-\alpha^2) \tag{13b}$$

Voor het oplossen van bovenstaande vergelijkingen wordt allereerst (verg. 13') homogeen gemaakt:

$$m_1 = m_1' + R^4 - 4R^2 \tag{14}$$

dan

$$\frac{d^2 m_1'}{dR^2} + \frac{1}{R}\frac{dm_1'}{dR} = 0 \tag{15}$$

$$m_1'(1) = 3 \tag{15a}$$

$$\frac{dm_1'(\alpha)}{dR} = -4\alpha^3 + 8\alpha - \frac{8}{S}\alpha(1-\alpha^2) \tag{15b}$$

Probeer $m_1' = A\ln R + B$ (16)

$$-\frac{A}{R^2} + \frac{1}{R}\frac{A}{R} = 0 \tag{16'}$$

$$B = 3 \tag{16a'}$$

$$A = -4\alpha^4 + 8\alpha^2 - \frac{8}{S}\alpha^2(1-\alpha^2) \tag{16b'}$$

(17) voldoet dus. Terugrekenen naar M_1 via (10), (11) en (16):

$$M_1(R) = (A\ln R + 3 + R^4 - 4R^2)\frac{SR_2^4}{64kD^2} \tag{17}$$

((voor A zie (16), voor α zie (12) en voor R zie (11)).

Ter plaatse van de venrand is $R = \alpha$ zodat

$$\boxed{M_1(R_1) = \{(8\alpha^2 - 4\alpha^4 - \frac{8}{S}\alpha^2 + \frac{8}{S}\alpha^4)\ln\alpha + 3 + \alpha^4 - 4\alpha^2\}\frac{SR_1^4}{64kD^2}\frac{1}{\alpha^4}} \tag{18}$$

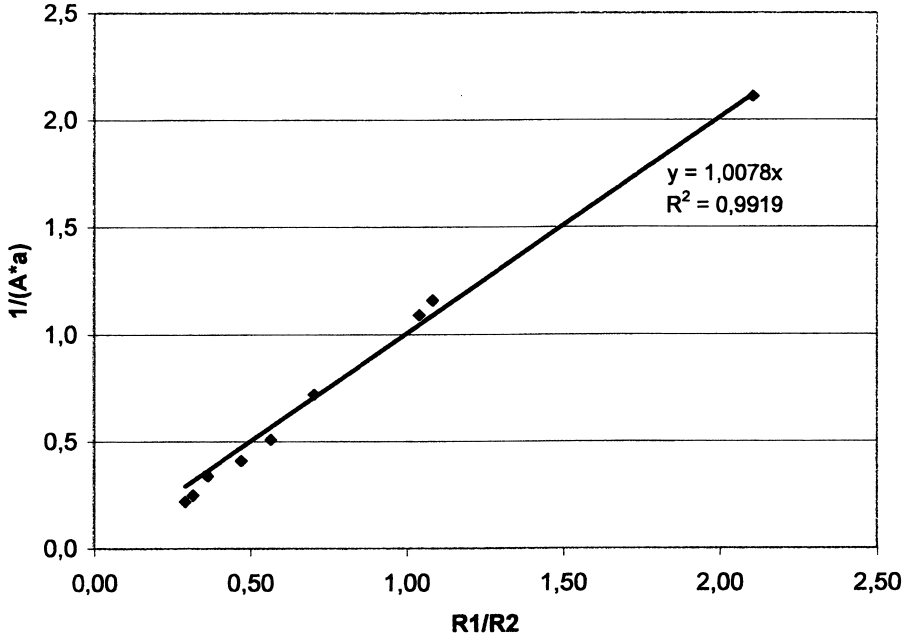
waarin $\alpha = \frac{R_1}{R_2}$

Toepassing:

Bepaal de waarden van M_0 en M_1 met tijdreeksanalyse. De uitdrukkingen (17) en (18) leveren, bij een bekende R_1, twee vergelijkingen met drie onbekenden, kD, S en R_2. Schat de waarde van S op 0.10 dan zijn kD en R_2 op te lossen.

Bijlage H. Verband 1/(*A*·*a*), R_1/R_2, h_j en (GHG-GLG)/2

Onderstaande figuur geeft het verband weer tussen 1/(*A*·*a*) en R_1/R_2.



Verband tussen R_1/R_2 en 1/(A·a)

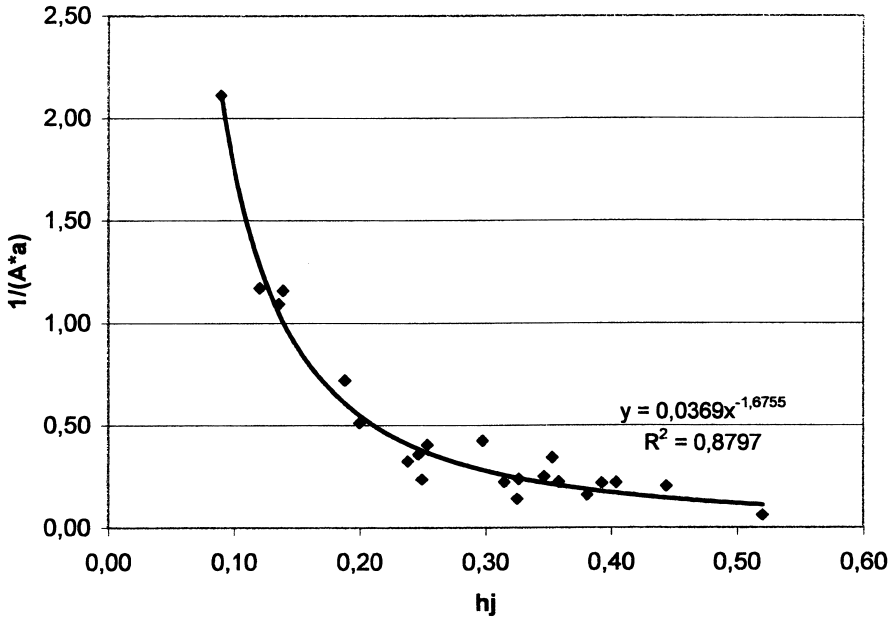
Te zien is dat 1/(*A*·*a*) gelijk is aan R_1/R_2. Dat het verband tussen R_1/R_2 en 1/(*A*·*a*) groot is, is verklaarbaar doordat R_1/R_2 berekend wordt uit *A* en *A*·*n*/*a*, waarbij voor *n*=1 geldt dat het berekend wordt uit *A* en *A*/*a*.
Het blijkt dat geldt voor *S*=0.10 (bijlage G):

$$\alpha = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{A \cdot a} = \frac{M_1}{A^2} = \frac{\{(8\alpha^2 - 4\alpha^4 - \frac{8}{S}\alpha^2 + \frac{8}{S}\alpha^4)\ln\alpha + 3 + \alpha^4 - 4\alpha^2\}\frac{SR_1^4}{64kD^2}\frac{1}{\alpha^4}}{A^2}$$

$$\alpha = \{(8\alpha^2 - 4\alpha^4 - \frac{8}{S}\alpha^2 + \frac{8}{S}\alpha^4)\ln\alpha + 3 + \alpha^4 - 4\alpha^2\}\frac{SR_1^4}{64kD^2}\frac{1}{\alpha^4} \cdot \frac{16kD^2}{\left(R_2^2 - R_1^2\right)^2}$$

$$\alpha = \{(8\alpha^2 - 4\alpha^4 - \frac{8}{S}\alpha^2 + \frac{8}{S}\alpha^4)\ln\alpha + 3 + \alpha^4 - 4\alpha^2\}\frac{SR_1^4}{4}\frac{1}{\alpha^4 \cdot \left(R_2^2 - R_1^2\right)^2}$$

Onderstaande figuur geeft het verband weer tussen $1/(A \cdot a)$ en h_j.



Verband tussen R_1/R_2 en $1/(A \cdot a)$

Het is te zien dat het verband tussen h_j en $1/(A \cdot a)$ een kwadratisch verband is. De verwachting was dat evenals de grafiek laat zien, een grote waarde voor $1/(A \cdot a)$ overeenkomt met een kleine waarde voor h_j. Maar naar het gevonden kwadratische verband is meer onderzoek gewenst.

Waterstandamplitude

Om inzicht te krijgen in de mate van waterstandfluctuatie van de vennen, is het gemiddelde tijdens de meetperiode van de laagste drie grondwaterstanden per jaar (GLG) afgetrokken van het gemiddelde tijdens de meetperiode van de hoogste drie grondwaterstanden per jaar (GHG). Dit is vervolgens, voor de vergelijking met de berekende amplitude h_j, gedeeld door twee (GHG-GLG)/2. Tabel 6.1 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 6.1. Waterstandfluctuatie per ven.

	B10ven	**B11ven**	**B9ven**	**B24ven**	**B23ven**	**B16ven**	**B15ven**	**B14ven**	**B22ven**
GHG	29,86	29,88	29,83	27,99	28,02	28,09	28,80	28,79	30,39
GLG	29,76	29,75	29,61	27,79	27,65	27,79	28,46	28,45	30,04
Verschil	0,10	0,13	0,22	0,20	0,37	0,30	0,34	0,34	0,35
(GHG-GLG)/2	0,05	0,07	0,11	0,10	0,19	0,15	0,17	0,17	0,18

In onderstaande figuur is dit verschil uitgezet tegen h_j.

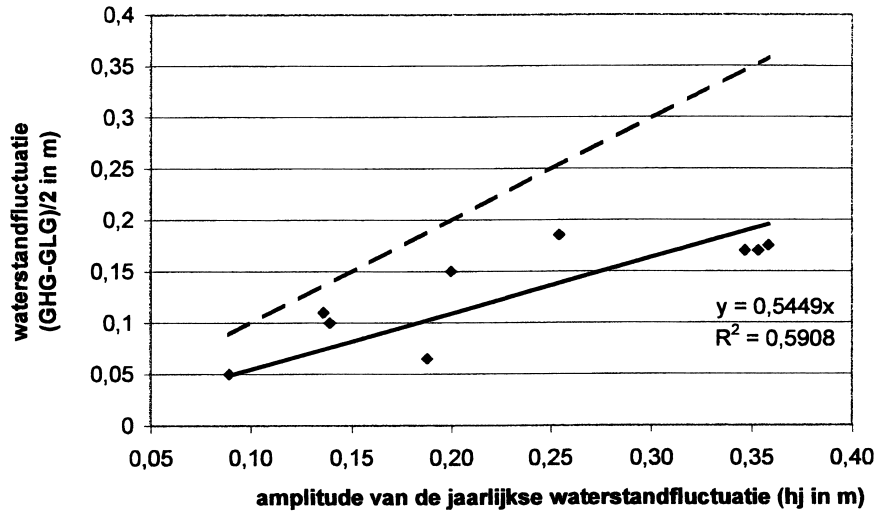
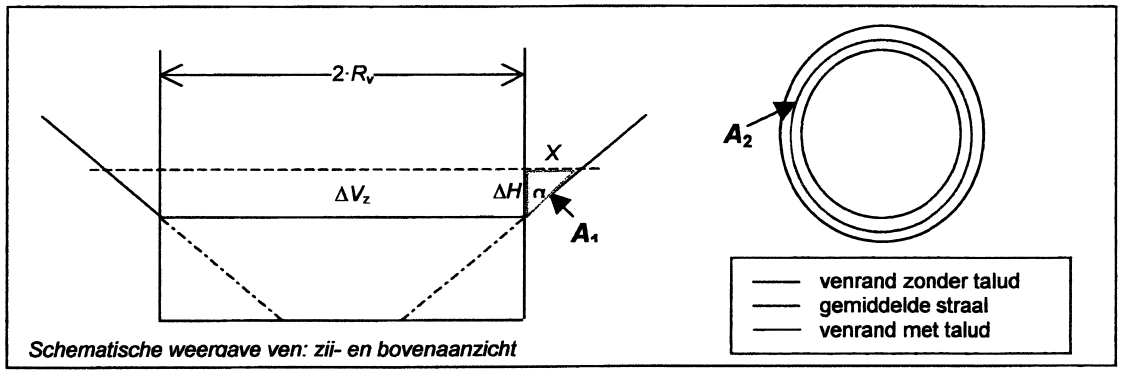


Fig. Vergelijking tussen (GHG-GLG)/2 met de met Menyanthes berekende waterstandfluctuatie (hj). De gestreepte lijn is het door Menyanthes voorspelde (GHG-GLG)/2.

Te zien is dat de waterstandfluctuatie zoals die berekend is uit Menyanthes positief gecorreleerd is aan (GHG–GLG)/2. Wel overschat Menyanthes de waterstandfluctuatie met ongeveer 80%. Dit kan onder andere voortkomen door het verschil tussen de gemiddelde nettoneerslag in De Bilt (gebruikt om h_j te berkenen) en in de Beegderheide (verwerkt in (GHG-GLG)/2). Daarnaast is de reductiefactor voor h_j anders (iteratief bepaalde reductiefactor) dan voor (GHG-GLG)/2 (werkelijke gewasfactor).

Bijlage I. Invloed ventalud

De waterstand in een ven wordt mede bepaald door het verschil in talud van de venwand. De grootte van deze invloed wordt bepaald door de grootte van het ven, de grootte van de waterstandsfluctuatie en de stijlheid van het talud.



Schematische weergave ven: zii- en bovenaanzicht

$\tan \alpha = X/\Delta H$
$X = \tan \alpha \cdot \Delta H$
$A_1 = 0.5 \cdot \tan \alpha \cdot \Delta^2 H$

α = hoek tussen verticaal en venwand (°)
X = afstand tussen venwand en verticaal (m)
ΔH = verschil in waterhoogte (m)
A_1 = extra oppervlakte voor waterberging (m^2)

Wordt het ven voorgesteld door een ronde cirkel, met een venstraal R_v, dan wordt het volume waterberging in een ven zonder talud (ΔV_z):

$$\Delta V_z = \pi \cdot R_v^2 \cdot \Delta H \qquad \textit{verg.1}$$

Wordt aangenomen dat geen grote fout wordt gemaakt door de gemiddelde straal R_{vgem} van het ven te nemen als gemiddelde straal van het extra oppervlak A_2, dan is de hoeveelheid extra waterberging (ΔV_t) in een ven met talud α bij een gelijke ΔH:

$$\Delta V_t = 2 \cdot \pi \cdot R_{vgem} \cdot A_1 \qquad \textit{verg. 2}$$

$$\Delta V_t = 2 \cdot \pi \cdot (R_v + 0.5 \cdot X) \cdot 0.5 \cdot \tan \alpha \cdot \Delta^2 H \qquad \textit{verg. 3}$$

$$\Delta V_t = (R_v + 0.5 \cdot \tan \alpha \cdot \Delta H) \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot \Delta^2 H \qquad \textit{verg. 4}$$

$$\Delta V_t = R_v \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot \Delta H^2 + 0.5 \cdot \tan^2 \alpha \cdot \Delta^3 H \qquad \textit{verg. 5}$$

Het percentage extra oppervlakte bij gelijke ΔH door het talud α is:

$$\frac{\Delta V_t}{\Delta V_z} \cdot 100\% = \frac{R_v \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot \Delta H^2 + 0.5 \cdot \tan^2 \alpha \cdot \Delta H^3}{\pi \cdot R_v^2 \cdot \Delta H} \cdot 100\% \qquad \textit{verg. 6}$$

$$= \frac{R_v \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot \Delta H + 0.5 \cdot \tan^2 \alpha \cdot \Delta H^2}{\pi \cdot R_v^2} \cdot 100\% \qquad \textit{verg. 7}$$

$$= \left(\frac{\Delta H \cdot \tan \alpha}{R_v} + \frac{\Delta H^2 \cdot \tan^2 \alpha}{2\pi R_v^2} \right) \cdot 100\%$$

De laatste term in vergelijking 8 is verwaarloosbaar ten opzichte van de eerste term, dus:

$$\frac{\Delta V_t}{\Delta V_z} \cdot 100\% = \left(\frac{\Delta H \cdot \tan \alpha}{R_v} \right) \cdot 100\% \qquad \textit{verg. 6}$$

In onderstaande tabel zijn voor enkele waarden van α, ΔH en R_v de percentages weergegeven.

Percentage extra oppervlak voor enkele waarden van α, ΔH en R_v.

a	89	85	80	70	60	80	80	80	80	80	40
ΔH	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
R_v	200	200	200	200	200	200	100	50	10	6	1
percentage extra oppervlak	***0,29***	***0,057***	***0,028***	***0,014***	***0,009***	***0,284***	***0,568***	***1,136***	***5,722***	***4,762***	***4,224***

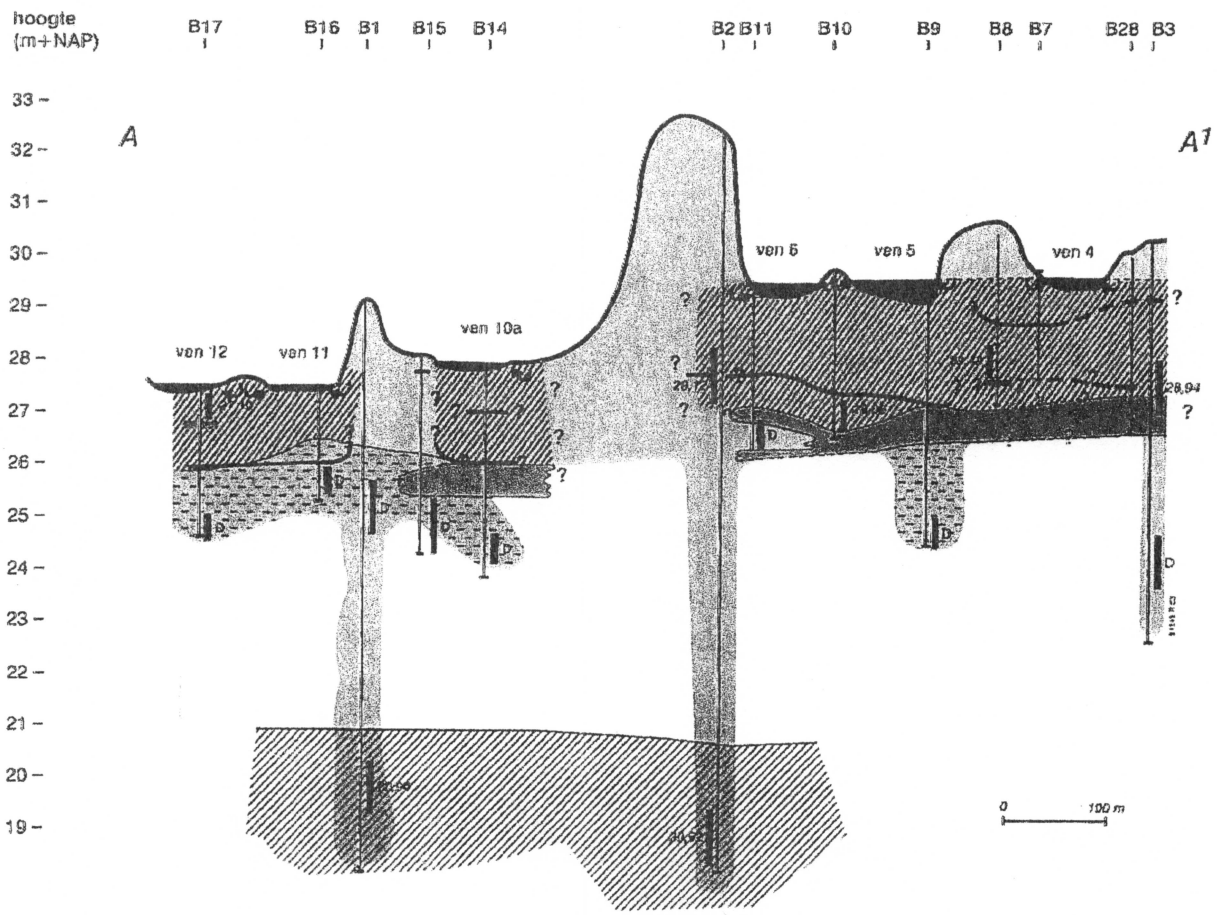
Uit de tabel is op te maken dat bij vennen met een straal > 10 m (waartoe de vennen op de Beegderheide behoren) de invloed van het talud op de waterhoogte inderdaad verwaarloosd mag worden (<5%). Dit mag echter niet bij vennen die droogvallen (straal <10 m), hierbij heeft het talud wel degelijk invloed op de waterhoogte (>5%). Ook bij een extreem flauw talud (89°) is dit percentage groter dan 5%. Maar voor *a*=85° is dit percentage al ruim kleiner dan 5%.

Bijlage J. Geohydrologische doorsneden

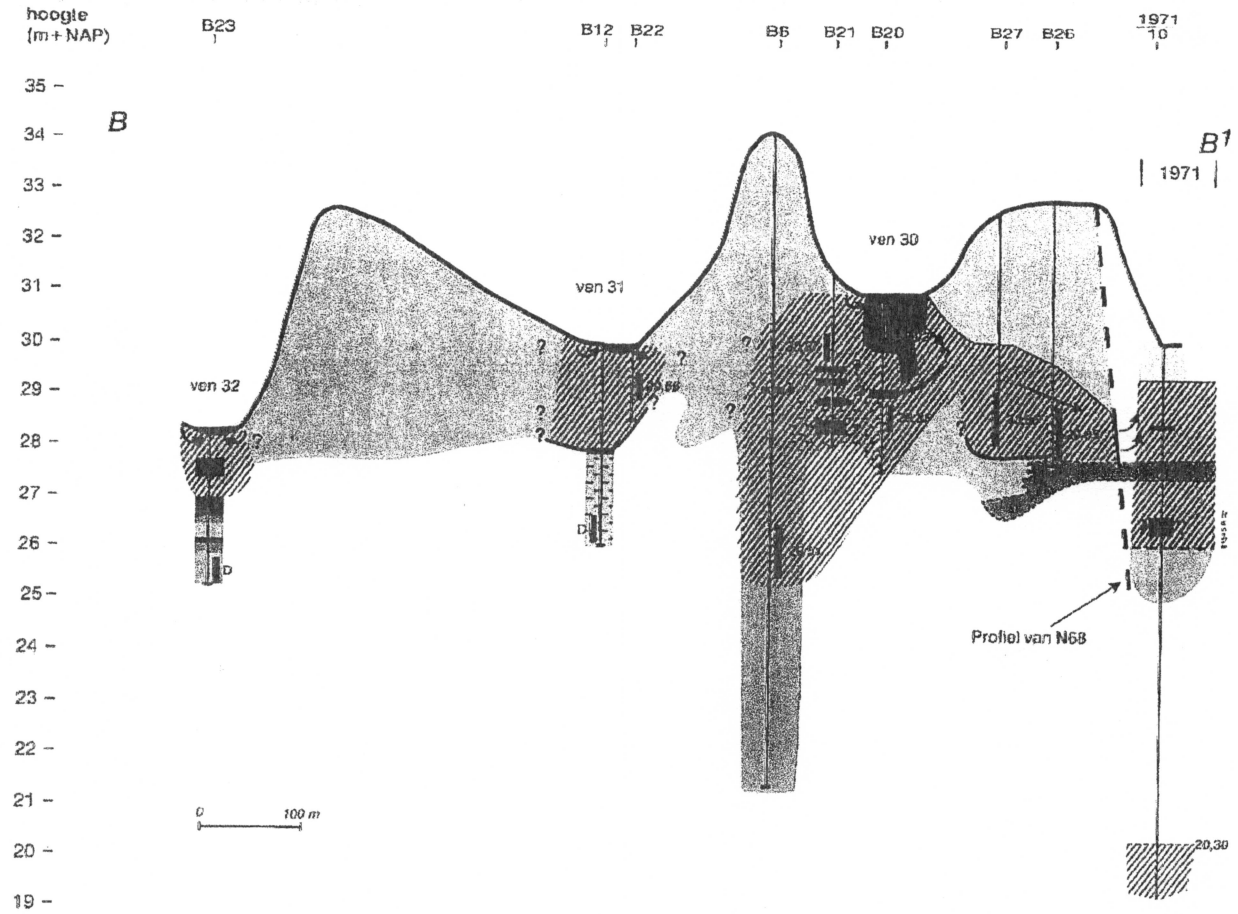
legenda

= ven met water
= zand
= lemig zand
= leem
= veen
= harde laag
= grondwaterstand
= water verzadigd
= filter van peilbuis
D = filter staat droog
29,12 = stijghoogte 22 of 31 juli 1997
= boring
= profiel van N68
= kwelzone in talud van N68
= periodieke grondwaterstroming
= permanente grondwaterstroming

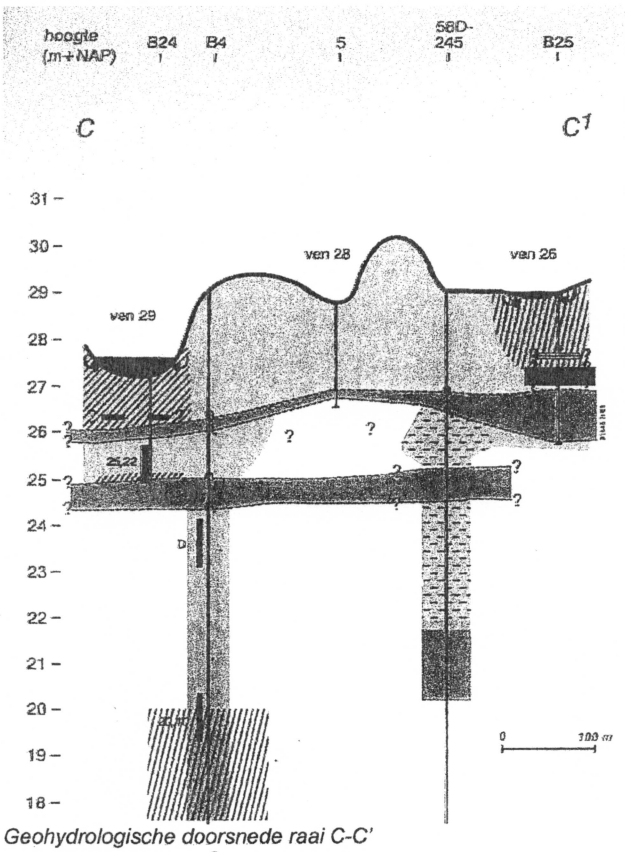
Legenda bij de geohydrologische doorsneden



Geohydrologische doorsnede raai A-A'



Geohydrologische doorsnede raai B-B'



Geohydrologische doorsnede raai C-C'

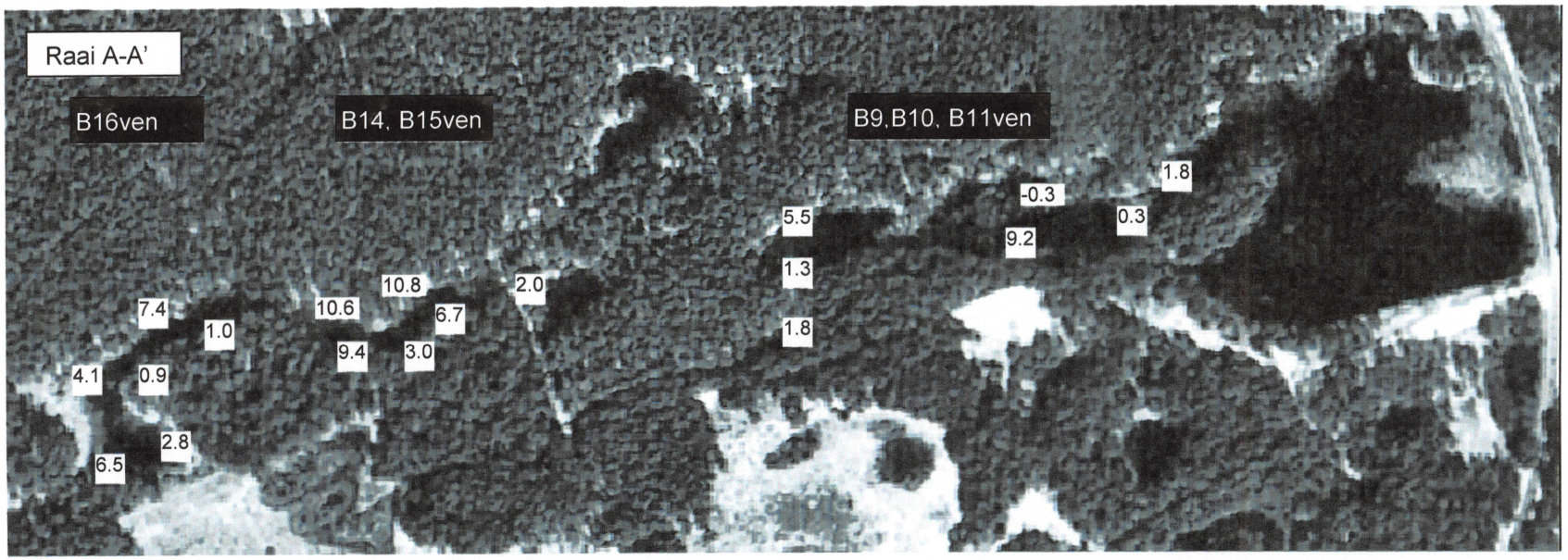
Bijlage K. Potentiaal meting

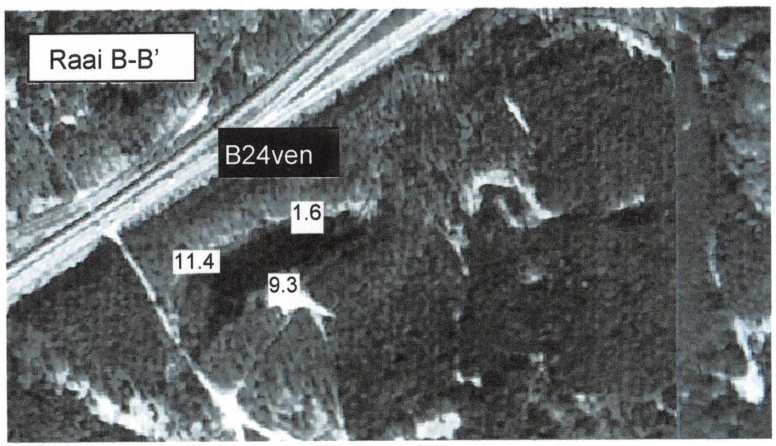
Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gemeten potentiaalverschillen in cm. Op de volgende bladzijde zijn de potentiaalverschillen in een kaartje weergegeven.

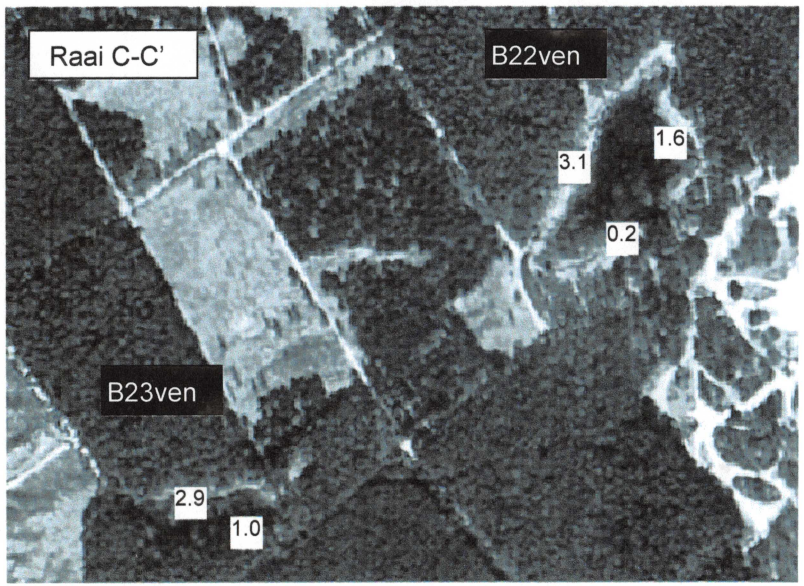
	Opp. Water (cm)	Grondwater (cm)	Verschil (cm)
B9, B10, B11ven, Meetpunt 1			
Referentie	40,0	40,8	0,8
Meting	38,1	40,2	2,1
Kwel			*1,3*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 2			
Referentie	39,2	40,4	1,2
Meting	36,8	43,5	6,7
Kwel			*5,5*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 2b			
Referentie	39,2	40,6	1,4
Meting	38,4	41,6	3,2
Kwel			*1,8*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 3			
Referentie	54,5	71,2	16,7
Meting	55,0	71,4	16,4
Kwel			*-0,3*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 4			
Referentie	55,5	70,5	15,0
Meting	55,5	70,8	15,3
Kwel			*0,3*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 5			
Referentie	59,5	67,0	7,5
Meting	54,8	71,5	16,7
Kwel			*9,2*
B9, B10, B11ven, Meetpunt 5b			
Referentie	54,5	71,6	17,1
Meting	53,0	71,9	18,9
Kwel			*1,8*
B14, B15ven, Meetpunt 1			
Referentie	48,6	54,6	6,0
Meting	42,3	55,0	12,7
Kwel			*6,7*
B14, B15ven, Meetpunt 1a			
Referentie	41,0	42,0	1,0
Meting	40,5	43,5	3,0
Kwel			*2,0*
B14, B15ven, Meetpunt 2			
Referentie	38,0	54,3	16,3
Meting	37,0	56,3	19,3
Kwel			*3,0*
B14, B15ven, Meetpunt 3			
Referentie	44,4	44,6	0,2
Meting	39,4	49,0	9,6
Kwel			*9,4*
B14, B15ven, Meetpunt 4			
Referentie	44,2	44,2	0,0
Meting	38,5	49,1	10,6
Kwel			*10,6*
B14, B15ven, Meetpunt 5			
Referentie	41,7	41,7	0,0
Meting	36,5	47,3	10,8
Kwel			*10,8*

	Opp. Water (cm)	Grondwater (cm)	Verschil (cm)
B16ven, Meetpunt 1			
Referentie	42,0	47,7	5,7
Meting	41,3	48,0	6,7
Kwel			*1,0*
B16ven, Meetpunt 2			
Referentie	40,5	44,9	4,4
Meting	40,5	45,8	5,3
Kwel			*0,9*
B16ven, Meetpunt 3			
Referentie	42,7	45,8	3,1
Meting	41,6	47,5	5,9
Kwel			*2,8*
B16ven, Meetpunt 4			
Referentie	43,8	44,0	0,2
Meting	40,6	47,3	6,7
Kwel			*6,5*
B16ven, Meetpunt 5			
Referentie	41,0	41,8	0,8
Meting	39,4	44,3	4,9
Kwel			*4,1*
B16ven, Meetpunt 6			
Referentie	40,0	42,4	2,4
Meting	36,3	46,1	9,8
Kwel			*7,4*
B24ven, Meetpunt 1			
Referentie	50,6	60,4	9,8
Meting	44,9	66,1	21,2
Kwel			*11,4*
B24ven, Meetpunt 2			
Referentie	54,2	65,7	11,5
Meting	53,7	66,8	13,1
Kwel			*1,6*
B24ven, Meetpunt 3			
Referentie	49,4	62,8	13,4
Meting	44,5	67,2	22,7
Kwel			9,3
B22ven, Meetpunt 1			
Referentie	50,0	67,9	17,9
Meting	49,7	69,2	19,5
Kwel			*1,6*
B22ven, Meetpunt 2			
Referentie	50,4	68,0	17,6
Meting	50,5	68,3	17,8
Kwel			*0,2*
B22ven, Meetpunt 3			
Referentie	50,5	67,8	17,3
Meting	48,5	68,9	20,4
Kwel			3,1
B23ven, Meetpunt 1			
Referentie	48,5	68,1	19,6
Meting	48,0	68,6	20,6
Kwel			*1,0*

NB. Idealiter is het verschil in referentie (allebei de kanten van de potentiaalsonde in het opp. water) 0. Ondanks het herhaaldelijk uitkloppen van de luchtbellen, was dit toch niet altijd het geval. De kwelflux is berekend als: verschil in meting-het verschil in referentie. Een positieve waarde houdt kwel in, een negatieve waarde wegzijging.



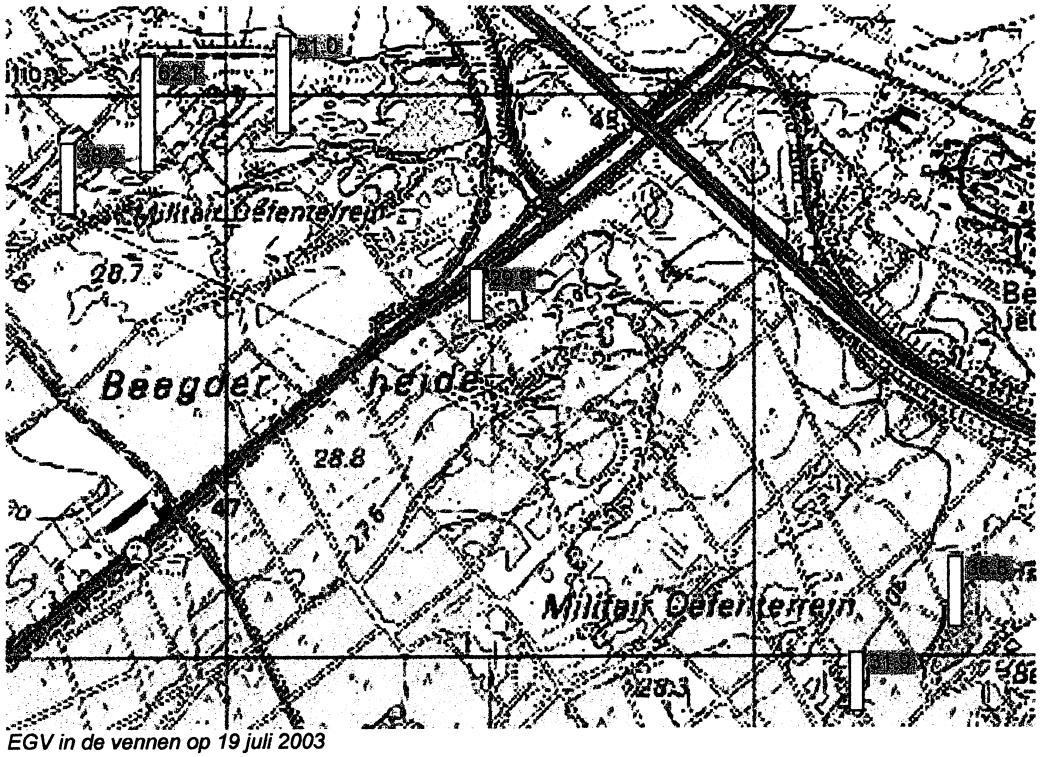




Gemeten potentiaalverschil op 19 juli 2003

Bijlage L. EGV meting

Onderstaande figuur laat het gemeten EGV in de vennen op 19 juli 2003 zien.



EGV in de vennen op 19 juli 2003

Bijlage M. Vegetatietypen

De analyse van de vennen vindt plaats aan de hand van vegetatietypen en plantensoorten. Vegetatietypen worden uitgedrukt in Associaties. Omdat het echter vaak niet eenvoudig is, of zelfs onmogelijk om een vegetatie tot op het niveau van een Associatie te beschrijven, worden ook Rompgemeenschappen en Derivaatgemeenschappen gebruikt. De plantengemeenschappen zijn in dat geval onvolledig ontwikkeld of verarmd. Rompgemeenschappen zijn vegetatietypen die slechts opgebouwd zijn uit kensoorten of differentierende soorten boven het associatieniveau (dus bijvoorbeeld op het verbondsniveau). Derivaatgemeenschappen zijn vegetatietypen waarbij de aanwezige dominerende soorten klasse-vreemd zijn. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de aanwezige vegetatietypen in de onderzochte vennen van de Beegderheide.

Aangetroffen vegetatietype per ven

Vegetatie type	***Venmeetpunt***	**B10**	**B14**	**B16**	**B24**	**B22**	**B23**
Derivaatgem. v. Pitrus en Veenmos (5.3)		x	x	x	x	x	x
Ass. v. Waterveenmos (5.4)		x	x	x	x	x	x
Ass. v. Gewone dophei (5.5)		x		x	x	x	x
Ass. v. Moeraswolfsklauw en Snavelbies (5.5)		x				x	
Ass. v. Veelstengelige waterbies (5.2)						x	x
Rompgem. v. Pijpenstrootje en Veenmos (5.3)			x			x	
Derivaatgem. Witte waterlelie (5.3)				x	x		
Ass. v. Moerasstruisgras en Zompzegge							x
Ass. v. Vlottende bies (5.2)							x
Ass. v. Stijve zegge (5.7)				x			
Rompgem. v. Pijpenstrootje (5.3)					x		
Rompgem. v. Veelstengelige waterbies en Veenmos (5.3)			x				

Een overzicht van de planten die een sterke voorkeur hebben voor een bepaalde mate van waterstandfluctuatie zijn vermeld in onderstaande tabel. Deze waterstandfluctuatie is bepaald door de minimale en de maximale waterstand van een jaarperiode van elkaar af te trekken (Aggenbach et al., 1998).

Aangetroffen plantensoort met voorkeur voor de mate van waterstandfluctuatie per ven

Plantensoort	**waterstand fluctuatie**	**B10**	**B14**	**B16**	**B24**	**B22**	**B23**	**Aant. vennen voorkomend**
Klein Blaasjeskruid	c		lf		cd			2
Draadzegge	c				lf		o	2
Snavelzegge	c/Zf	o					o	2
Zompzegge	c/Zf				lf	o	a	3
Gewone Dophei	Mf/Sf	la		o	o	a	f	5
Zachte berk	Mf/Sf			lf				1
Waternavel	Mf/Sf			lf	o	o	lf	4
Tormentil	Mf/Sf					r		1
Moerashertshooi	Mf/Sf			r			lf	2
Bochtige Smele	Sf	d	o	d	f	lf	la	6
Veelstengelige bies	Sf					a	a	2
Gewone Braam	Sf	lf		lf	o	o	f	5

c = constant waterpeil
Zf = zwak fluctuerend (<30cm)
Mf = matig fluctuerend (30-60 cm)
Sf = sterk fluctuerend (>60 cm)
Fluctuatie is bepaald als maximaal - minimale waterstand per jaar

d= dominant
cd = codominant
a = zeer veel aanwezig
la = lokaal zeer veel aanwezig

f= frequent
lf = lokaal frequent
o = hier en daar
r = schaars
z= zeldzaam